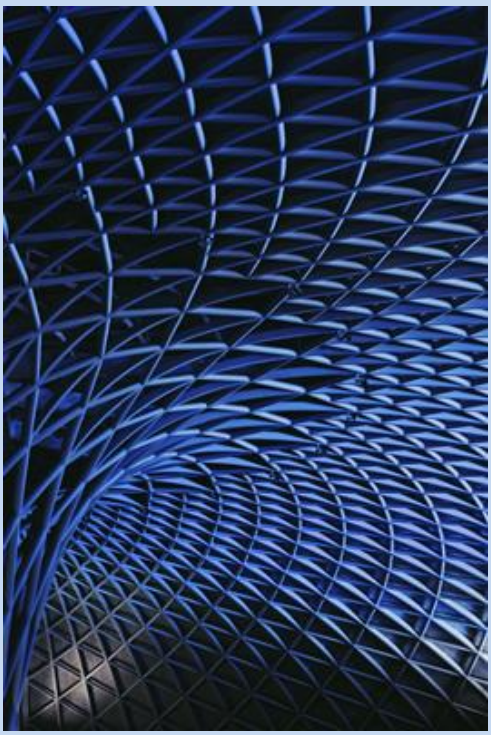
©1991-2022 Inter-CAD Kft.
Tout droit réservés

AXISVM X6

MANUEL DE L'UTILISATEUR



Traduit de l'anglais par Pierre DEQUET

Copyright	*Copyright © 1991-2022 Inter-CAD Kft. de Hongrie. Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, stockée dans un système de recherche documentaire ou transmise sous quelque forme ou par quelque moyen que ce soit, électronique, mécanique, par photocopie, enregistrement ou autre, à quelque fin que ce soit.*
Marques commerciales	*AxisVM est une marque déposée de Inter-CAD Kft.* *Toutes les autres marques sont la propriété de leurs détenteurs respectifs.* *Inter-CAD Kft. n'est pas affilié à INTERCAD PTY. Ltd. d'Australie.*
Clause de non-responsabilité	*Le matériau présenté dans ce texte est uniquement à des fins d'illustration et d'éducation et n'est pas destiné à être exhaustif ou à s'appliquer à un problème d'ingénierie particulier pour l'étude. Bien que des efforts raisonnables aient été faits lors de la préparation de ce texte pour en assurer l'exactitude, Inter-CAD Kft. n'assume aucune responsabilité envers toute personne ou société pour les dommages directs ou indirects résultant de l'exploitation de toute information contenue dans ce document.*
Changements	*Inter-CAD Kft. se réserve le droit de réviser et d'améliorer son produit comme bon lui semble. Cette publication décrit l'état de ce produit au moment de sa publication et peut ne pas refléter le produit à tout moment dans le futur.*
Version	*Il s'agit d'une version internationale du produit qui peut ne pas être conforme aux normes correspondantes dans un pays respectif et qui est disponible uniquement en l'état.*
Garantie limitée	*Inter-CAD Kft. n'offre aucune garantie, expresse ou implicite, y compris, mais sans s'y limiter, toute garantie implicite de qualité marchande ou d'adéquation à un usage particulier, concernant ces matériaux.* *En aucun cas, Inter-CAD Kft. ne sera responsable envers quiconque des dommages spéciaux, collatéraux, accessoires ou consécutifs en rapport avec ou découlant de l'achat ou de l'exploitation de ces matériaux. La responsabilité unique et exclusive d'Inter-CAD KFT, quelle que soit la forme d'action, ne doit pas dépasser le prix d'achat du matériau décrit dans le présent document.*
Appui et services techniques	*Si vous avez des questions sur l'installation ou l'exploitation de l'AxisVM, consultez d'abord ce manuel de l'utilisateur - vous trouverez ici les réponses à la plupart de vos questions. Si vous avez besoin d'une aide supplémentaire, veuillez contacter votre fournisseur de logiciels.*

1. Nouvelles fonctionnalités de la version X6 12
2. Comment utiliser AxisVM 15
2.1. Exigences en matière de matériel 15
2.2. Protection et installation 16
2.2.1. Clé matérielle 16
2.2.2. Clé logicielle 19
2.2.3. Installation 20
2.3. Pour commencer 27
2.4. Interface utilisateur AxisVM 28
2.5. Utilisation du curseur, du clavier, de la souris 29
2.6. Raccourcis clavier 30
2.7. Menu rapide 35
2.8. Boîtes de dialogue 35
2.9. Navigateur de tableau 35
2.10. Concepteur de rapport 42
2.10.1. Barre d'outils Rapport 44
2.10.2. Rapport 45
2.10.3. Editer 47
2.10.3.1. Modèle de rapport 48
2.10.3.2. Édition d'un modèle de rapport 49
2.10.3.3. Rapport basé sur un filtre 52
2.10.4. Dessins 52
2.10.5. Archives 53
2.10.6. Barre d'outils archives et bibliothèque de dessins 53
2.10.7. Éditeur de texte 53
2.11. Étages 55
2.12. Gestionnaire de calques 55
2.13. Bibliothèque de dessins 55
2.14. Sauvegarder dans la bibliothèque de dessin 55
2.15. Exporter la vue actuelle en PDF 3D – module PDF 55
2.16. La barre d'icônes 56
2.16.1. Sélection 57
2.16.2. Barre d'icônes zoom 59
2.16.3. Points de vue 60
2.16.4. Modes d'affichage 61
2.16.5. Codage couleur 65
2.16.6. Transformations géométriques sur les objets 68
2.16.6.1. Translater / Copier 68
2.16.6.2. Faire tourner 69
2.16.6.3. Miroir 70
2.16.6.4. Échelle 70
2.16.7. Plans de travail 71
2.16.8. Trames structurelles 72
2.16.9. Lignes guides 75
2.16.10. Outils de géométrie 76
2.16.11. Cotations, symboles et annotations 77
2.16.11.1. Cotation orthogonale 77
2.16.11.2. Cotation alignée 79
2.16.11.3. Cotation angulaire 80
2.16.11.4. Longueur de l'arc 81
2.16.11.5. Rayon de l'arc 81
2.16.11.6. Marques de niveau et d'élévation 81
2.16.11.7. Zone de texte 82
2.16.11.8. Champs de texte pour les informations sur les objets et les résultats 84
2.16.11.9. Annotations d'isolignes 86
2.16.11.10. Cotation pour les semelles de fondation 87
2.16.12. Édition des calques de fond de plan 87
2.16.13. Renommer/renuméroter 88
2.16.14. Parties 89
2.16.15. Lignes et plans de section 91
2.16.16. Poutres virtuelles 96
2.16.17. Trouver 99
2.16.18. Options d'affichage 99
2.16.19. Options de modèle 104

2.16.19.1. Trame et curseur 105
2.16.19.2. Edition 105
2.16.19.3. Dessin 106
2.16.19.4. Vérification du chargement 107
2.16.20. Informations sur le projet 108
2.17. Ligne de commande intelligente 109
2.18. Boutons rapides 112
2.18.1. Accrochage aux objets 112
2.19. Fenêtres d'information 113
2.19.1. Fenêtre de coordonnées 113
2.19.2. Fenêtre d'information 113
2.19.3. Codage couleur 114
2.19.4. Fenêtre de légende des couleurs 114
2.19.5. Outil de la fenêtre Perspective 117
3. Le Menu Principal 118
3.1. Fichier 118
3.1.1. Nouveau projet 118
3.1.2. Précédentes révisions 119
3.1.3. Ouvrir 120
3.1.4. Sauvegarder 120
3.1.5. Enregistrer sous 120
3.1.6. Exporter 121
3.1.6.1. Exportation vers DXF 121
3.1.6.2. Exportation vers IFC 121
3.1.6.3. Exporter vers REVIT 122
3.1.6.4. Exportation vers TEKLA STRUCTURES 126
3.1.6.5. Exporter vers NEMETSCHEK ALLPLAN 126
3.1.6.6. Exportation au format de fichier SAF 127
3.1.6.7. Exportation vers d'autres applications 128
3.1.6.8. Exportation vers AxisVM 129
3.1.7. Importer 129
3.1.7.1. Importation de fichiers DXF 129
3.1.7.2. Importation de fichiers IFC 130
3.1.7.3. Importation de fichiers RAE REVIT 132
3.1.7.4. Importation depuis TEKLA structures 138
3.1.7.5. Importation de fichiers PDF – PDF module 138
3.1.7.6. Importation de fichiers SAF 138
3.1.7.7. Importation de fichiers AXS AxisVM 140
3.1.7.8. Importation de fichiers provenant d'autres applications 140
3.1.8. Étude paramétrique 140
3.1.8.1. Complément GRASSHOPPER/RHINOCEROS 141
3.1.8.2. Complément DYNAMO / AUTODESK 142
3.1.9. TEKLA STRUCTURES- Connexion AxisVM - Module TI 142
3.1.9.1. Connexion bidirectionnelle pour Tekla Structures versions 2019 et ultérieures 142
3.1.9.2. Connexion unidirectionnelle pour les versions de Tekla Structures avant 2019 152
3.1.10. En-tête de page 156
3.1.11. Paramètres d'impression 156
3.1.12. Imprimer 156
3.1.13. Impression à partir du fichier 159
3.1.14. Bibliothèque de projets 159
3.1.15. Bibliothèque de matériaux 160
3.1.16. Bibliothèque de sections transversales 165
3.1.16.1. Editeur de Section transversale 169
3.1.17. Bibliothèque des caractéristiques de ressorts 181
3.1.17.1. Ressort de nœud à nœud 182
3.1.17.2. Isolateurs sismiques 187
3.1.18. Sortie 188
3.2. Edition 188
3.2.1. Défaire 188
3.2.2. Refaire 189
3.2.3. Répéter la dernière commande 189
3.2.4. Sélectionner tout 189
3.2.5. Rétablir la sélection précédente 189
3.2.6. Copier 189
3.2.7. Coller 189
3.2.8. Options de copier/coller 189

3.2.9. Supprimer ... 191
3.2.10. Navigateur de tableau ... 192
3.2.11. Concepteur de rapport ... 192
3.2.12. Sauvegarder dans la bibliothèque des dessins ... 192
3.2.13. Résumé de poids ... 193
3.2.14. Assembler éléments de construction ... 193
3.2.15. Dissocier éléments de construction ... 193
3.2.16. Convertir les charges surfaciques réparties sur les poutres ... 193
3.2.17. Convertir les poutres en modèle coque ... 193
3.2.18. Créer un projet de coque pour une connexion nodale ... 194
3.2.19. Convertir les charges des plans de chargement sélectionnés en charges individuelles ... 194
3.2.20. Convertir les références automatiques ... 194
3.2.21. Rendre les nervures paramétriques indépendante ... 194
3.3. Paramètres ... 195
3.3.1. Options d'affichage ... 195
3.3.2. Options du projet ... 195
3.3.3. Gestionnaire de calques ... 195
3.3.4. Etages ... 197
3.3.5. Lignes guides ... 199
3.3.6. Trame structurelle ... 199
3.3.7. Normes ... 199
3.3.8. Unités et formats ... 200
3.3.9. Pesanteur ... 201
3.3.10. Réduction de la rigidité ... 201
3.3.11. Paramètres ... 203
3.3.11.1. Sécurité des Données ... 204
3.3.11.2. Couleurs ... 205
3.3.11.3. Symboles graphiques ... 206
3.3.11.4. Polices de caractères ... 207
3.3.11.5. Fenêtres de dialogues ... 208
3.3.11.6. Noms par défaut ... 209
3.3.11.7. Edition ... 209
3.3.11.8. Maillage ... 211
3.3.11.9. Barre d'Outils ... 211
3.3.11.10. Affichage ... 212
3.3.11.11. Parties ... 213
3.3.11.12. Valeurs par défaut de groupe de charges ... 214
3.3.11.13. Analyse ... 215
3.3.11.14. Rapport ... 216
3.3.11.15. Mise à Jour ... 217
3.3.12. Raccourcis clavier ... 217
3.3.13. Langue ... 219
3.3.14. Langue du rapport ... 219
3.3.15. Barres d'outils à la position par défaut ... 220
3.3.16. Fenêtre de dialogue en position par défaut ... 220
3.4. Vue .. 220
3.5. Compléments ... 221
3.6. Fenêtre ... 222
3.6.1. Editeur de propriétés ... 222
3.6.2. Fenêtres d'information ... 223
3.6.3. Image d'arrière plan ... 223
3.6.4. Diviser horizontalement ... 224
3.6.5. Diviser verticalement ... 224
3.6.6. Dispositions spéciales des fenêtres ... 225
3.6.7. Fermer la fenêtre ... 225
3.6.8. Changement de la taille de la police des annotations ... 225
3.6.9. Empêcher le chevauchement d'annotations ... 225
3.6.10. Bibliothèque de dessins ... 226
3.6.10.1. Exporter des dessins vers un fichier PDF 3D - module PDF ... 227
3.6.11. Sauvegarder dans la bibliothèque des dessins ... 228
3.7. Aide . 228
3.7.1. Contenu ... 228
3.7.2. Guides ... 228
3.7.3. Site internet d'AxisVM ... 229
3.7.4. Mise à jour l'AxisVM ... 229
3.7.5. Info ... 229

3.7.6. Informations sur la version... 229
3.8. Barre d'outils principale 229
4. Le préprocesseur 231
4.1. Géométrie 231
4.2. L'éditeur de projet 232
4.2.1. Mode multi-fenêtres 232
4.3. Systèmes de coordonnées 233
4.3.1. Système de coordonnées cartésiennes 233
4.3.2. Système de coordonnées polaires 233
4.4. Fenêtre de coordonnées 234
4.5. Trame 235
4.6. Pas du curseur 235
4.7. Outils d'édition 235
4.7.1. Identification du curseur 235
4.7.2. Saisie numérique des coordonnées 236
4.7.3. Mesure d'une distance 237
4.7.4. Mouvements contraints du curseur 237
4.7.5. Gel des coordonnées 238
4.7.6. Intersection automatique 238
4.8. Barre d'outils de géométrie 239
4.8.1. Nœud (Point) 239
4.8.2. Ligne 239
4.8.3. Arc 240
4.8.4. Division horizontale 241
4.8.5. Division verticale 241
4.8.6. Division quadrilatère/triangle 241
4.8.7. Intersection 242
4.8.8. Supprimer nœud 242
4.8.9. Supprimer les nœuds intermédiaires 243
4.8.10. Prolonger les lignes pour rejoindre d'autre ligne ou un autre plan 243
4.8.11. Ajuster les lignes pour rejoindre d'autre ligne ou un autre plan 244
4.8.12. Prolonger/couper les lignes jusqu'à leur point d'intersection 244
4.8.13. Division de la ligne 245
4.8.14. Transversale normale 245
4.8.15. Intersection d'un plan avec le projet 245
4.8.16. Couper avec un plan le projet et enlever la partie à supprimer 245
4.8.17. Intersection de domaines 246
4.8.18. Purger les lignes et les nœuds inutiles 246
4.8.19. Vérification de la géométrie 246
4.8.20. Surface 247
4.8.21. Modifier, transformer 247
4.8.22. Supprimer 249
4.9. Éléments finis 249
4.9.1. Matériaux 250
4.9.2. Sections transversales 251
4.9.2.1. Bibliothèques de sections transversales 251
4.9.3. Caractéristiques du ressort 253
4.9.4. Dessiner directement l'objet 254
4.9.5. Dessiner directement les appuis 256
4.9.6. Domaine 256
4.9.6.1. Définir un domaine de type normal 257
4.9.6.2. Domaine composite nervuré 260
4.9.6.3. Domaine de type noyau creux 261
4.9.6.4. Dalles paramétriques nervurées 262
4.9.6.5. Hourdis en acier trapézoïdal 262
4.9.6.6. Domaine avec matrice de rigidité personnalisée 264
4.9.6.7. Domaine de type XLAM 265
4.9.7. Ouverture 267
4.9.8. Opérations sur les domaines 267
4.9.9. Éléments linéaires 269
4.9.9.1. Fermes 269
4.9.9.2. Poutre 271
4.9.9.3. Poutre aux 7 DDL - Module 7 DDL 280
4.9.9.4. Nervure 281
4.9.10. Élément surfacique 285
4.9.10.1. Voile 285

4.9.10.2. Plaque ... 286
4.9.10.3. Coque ... 287
4.9.11. Appui nodal ... 288
4.9.11.1. Calcul de la rigidité du Support ... 291
4.9.12. Appui linéaire ... 296
4.9.12.1. Calcul de la rigidité du support ... 298
4.9.13. Appui surfacique ... 299
4.9.13.1. Calcul de la rigidité du support ... 300
4.9.14. Rotule de bord ... 300
4.9.15. Éléments rigides ... 301
4.9.16. Diaphragme ... 301
4.9.17. Ressort ... 302
4.9.18. Élément de contact ... 304
4.9.19. Isolateurs sismiques ... 305
4.9.20. Liaison ... 307
4.9.21. DDL Nodal (degrés de liberté) ... 310
4.9.22. Références ... 312
4.9.23. Création d'une ossature projet à partir d'un projet architectural ... 316
4.9.24. Modifier ... 320
4.9.25. Supprimer ... 320
4.10. Charges ... 321
4.10.1. Cas de charge, groupes de charges ... 321
4.10.2. Combinaisons de charges ... 327
4.10.3. Charge nodale ... 331
4.10.4. Charge ponctuelle sur la poutre ... 331
4.10.5. Charge ponctuelle sur le domaine ou le plan de chargement ... 332
4.10.6. Charge linéaire répartie sur la poutre / la nervure ... 333
4.10.7. Charge de bordure ... 335
4.10.8. Charge linéaire sur domaine ... 336
4.10.9. Charge surfacique ... 338
4.10.10. Domaine / Charge surfacique sur le plan de chargement ... 339
4.10.11. Charge surfacique répartie sur les éléments linéaires ... 341
4.10.12. Plan de chargement ... 342
4.10.13. Charge de neige - module SWG ... 344
4.10.14. Charge de vent - module SWG ... 354
4.10.15. Génération de la charge du vent à partir d'un fichier CFD (Computational Fluid Dynamics) - module CFD. ... 366
4.10.16. Charge hydrostatique ... 368
4.10.17. Poids Propre ... 368
4.10.18. Défaut de longueur (erreur de fabrication) ... 368
4.10.19. Traction / compression ... 368
4.10.20. Charge thermique sur les éléments linéaires ... 369
4.10.21. Charge thermique sur les éléments surfaciques ... 369
4.10.22. Déplacement d'appui imposé ... 370
4.10.23. Ligne d'influence ... 371
4.10.24. Charges sismiques - module SE1 ... 372
4.10.24.1. Calcul de la charges sismiques selon l'Eurocode 8 ... 373
4.10.24.2. Calcul de la charges sismiques selon la norme suisse SIA 261 ... 380
4.10.24.3. Calcul de la charges sismiques selon la norme allemande EC8-1 les Annexes Nationales ... 380
4.10.24.4. Calcul de la charges sismiques selon la norme italienne NTC 2018 ... 380
4.10.24.5. Calcul de la charges sismiques selon la norme roumaine P100-1 ... 380
4.10.24.6. Calcul de la charges sismiques selon la norme néerlandaise NPR 9998:2018 ... 380
4.10.25. Charge de poussée - module SE2 ... 381
4.10.26. Imperfection globale ... 383
4.10.27. Imperfections géométriques basées sur des formes de flambement. ... 384
4.10.28. Tension - module PS1 ... 384
4.10.28.1. Post-tension des éléments de poutre et de nervure ... 384
4.10.28.2. Post-tension des domaines ... 392
4.10.29. Charges mobiles ... 395
4.10.29.1. Déplacement de charges sur des éléments linéaires ... 396
4.10.29.2. Déplacement de charges sur des domaines ou plans de chargements ... 397
4.10.30. Charges dynamiques (pour l'analyse temps / événement) - module DYN ... 398
4.10.30.1. Charge nodale dynamique ... 403
4.10.30.2. Charge dynamique concentrée sur le domaine ou le plan de chargement ... 404
4.10.30.3. Charge dynamique surfacique indépendante du maillage sur les domaines ou les plans de chargement ... 404
4.10.30.4. Accélération dynamique de l'appui ... 405
4.10.30.5. Accélération nodale dynamique ... 405

4.10.31. Effet du feu sur les éléments linaires en acier - module SD8 ... 406
4.10.32. Effet du feu sur les éléments linéaires en bois - module TD8 ... 413
4.10.33. Effet du feu sur les éléments linéaires en béton - module RC8-B ... 416
4.10.34. Fractionner des charges dans des cas de charges distinctes ... 419
4.10.35. Masse nodale ... 420
4.10.36. Modifier ... 421
4.10.37. Supprimer ... 421
4.11. Maillage ... 421
4.11.1. Génération de maillage ... 421
4.11.1.1. Maillage d'éléments linéaires ... 421
4.11.1.2. Maillage des domaines ... 422
4.11.2. Affinement des mailles ... 423
4.11.3. Vérification du maillage ... 425
4.11.4. Selectionner les bordures libres ... 425
4.11.5. Supprimer toutes les mailles ... 425
5. Analyse ... 426
5.1. Analyse statique ... 428
5.2. Vibration ... 433
5.2.1. Facteur de réponse oscillatoire ... 435
5.3. Analyse Dynamique ... 438
5.4. Flambement ... 441
5.5. Éléments finis ... 442
5.6. Principales étapes d'une analyse ... 444
5.7. Messages d'erreur ... 445
6. Le post-processeur ... 447
6.1. Statique ... 447
6.1.1. Valeurs minimales et maximales ... 454
6.1.2. Animation ... 454
6.1.3. Affichage du diagramme ... 455
6.1.4. Courbes de capacité de poussée ... 459
6.1.4.1. Courbes de capacité selon l'Eurocode 8 ... 460
6.1.4.2. Spectre de Réponse d'Accélération-Déplacement (SRAD) ... 460
6.1.4.3. Dérive sismique ... 461
6.1.5. Tableaux de résultats ... 461
6.1.5.1. Tableaux des résultats des segments de section transversale ... 463
6.1.6. Déplacements ... 463
6.1.6.1. Calcul non linéaire de la déflexion totale (wtot) pour les plaques B.A. ... 466
6.1.6.2. Déplacements relatifs ... 466
6.1.7. Vitesse nodale ... 468
6.1.8. Accélération nodale ... 468
6.1.9. Forces internes dans la ferme et la poutre ... 468
6.1.10. Forces internes d'une nervure ... 470
6.1.11. Forces internes de la poutre virtuel ... 472
6.1.12. Forces internes des éléments surfaciques ... 473
6.1.13. Forces internes des appuis ... 475
6.1.14. Forces internes des éléments de liaison ligne à lignes et d'articulation de bord ... 477
6.1.15. Forces internes des éléments de ressort ... 477
6.1.16. Déformation des fermes, poutres et nervures ... 477
6.1.17. Déformation aux points de contrainte des fermes, poutres et nervures ... 478
6.1.18. Déformation des éléments surfaciques ... 478
6.1.19. Déformations des éléments surfaciques aux points de contrainte ... 480
6.1.20. Déformations des éléments de ressort ... 480
6.1.21. Contrainte dans les fermes, les poutres et les nervures ... 481
6.1.22. Contraintes des éléments surfaciques ... 485
6.1.23. Résultats non linéaires du ressort ... 489
6.1.24. Résultats de la dynamique du ressort ... 490
6.1.25. Lignes d'influence ... 491
6.1.26. Charges non équilibrées ... 491
6.2. Flambement ... 492
6.2.1. Création d'une géométrie imparfaite à partir de formes de flambement - module IMP ... 492
6.3. Oscillation ... 494
6.4. Dynamique ... 496
6.5. Etude B.A. ... 496
6.5.1. Paramètres des armatures surfaciques et calcul des armatures - module RC1 ... 496
6.5.1.1. Calcul des armatures orthogonales x/y selon l'Eurocode 2 ... 500

6.5.1.2. Calcul des armatures orthogonales x/y selon les normes DIN EN, DIN 1045-1 et SIA 262 502
6.5.1.3. Calcul des armatures obliques selon l'Eurocode 2 et la SIA 262 503
6.5.1.4. Calcul des armatures des dalles composites à hourdis en tôle trapézoïdale selon les normes Eurocode et SIA. 504
6.5.2. Armatures réelles 509
6.5.2.1. Armatures des éléments surfaciques et des domaines 509
6.5.2.2. Armatures indépendantes des mailles 511
6.5.3. Paramètres d'armatures de flexion uni-axiale (poutre) 512
6.5.4. Paramètres d'armatures de flexion bi-axiale (poteau) 516
6.5.5. Analyse non linéaire des éléments de poutres et de poteaux en B.A. 520
6.5.6. Analyse non linéaire des surfaces en B.A. 522
6.5.7. Fissuration 524
6.5.7.1. Calcul de la fissuration selon l'Eurocode 2 524
6.5.7.2. Calcul de la fissuration selon la norme DIN 1045-1 525
6.5.8. Calcul de la résistance à l'effort tranchant des armatures des plaques et des coques – module RC3 525
6.5.8.1. Calcul selon l'Eurocode 2 526
6.5.8.2. Calcul selon la norme SIA 262 527
6.5.9. Armatures de poteau - module RC2 527
6.5.9.1. Calcul de l'excentricité 534
6.5.9.2. Contrôle des poteaux B.A. selon l'Eurocode 2 (flexion avec force axiale) 536
6.5.9.3. Contrôle des poteaux en B.A. selon la norme DIN1045-1 (flexion avec force axiale) 538
6.5.9.4. Contrôle des poteaux en B.A. selon la norme SIA 262 (flexion avec force axiale) 539
6.5.9.5. Vérification à l'effort tranchant et à la torsion des poteaux en B.A. 540
6.5.9.6. Vérification à l'effort tranchant et à la torsion selon l'Eurocode 2 et la norme DIN 1045-1 542
6.5.9.7. Verification à l'effort tranchant et à la torsion selon la norme SIA 262 544
6.5.9.8. Calcul en capacité : calcul de la valeur d'étude de l'effort tranchant selon l'Eurocode et SIA 544
6.5.10. Étude de poteaux composites - module RC2 546
6.5.10.1. Contrôle d'étude selon les normes Eurocode et SIA 548
6.5.11. Étude de l'armature des poutres - module RC2 549
6.5.11.1. Étapes d'étude de l'armature des poutres 550
6.5.11.2. Vérification de l'armature des poutres 553
6.5.11.3. Vérification de l'armature réelle des poutres 555
6.5.11.4. Calcul des armatures des poutres selon l'Eurocode2 558
6.5.11.5. Calcul des armatures des poutres selon la norme DIN 1045-1 560
6.5.11.6. Calcul des armatures des poutres selon la norme SIA 262:2003 562
6.5.12. Conception au feu des poutres et poteaux en béton armé - module RC8-B 563
6.5.13. Analyse de poinçonnement - module RC3 566
6.5.13.1. Analyse de poinçonnement selon l'Eurocode 567
6.5.13.2. Analyse de poinçonnement selon la norme SIA 262 575
6.5.14. Étude de la semelle de fondation - module RC4 579
6.5.14.1. Étude de la semelle isolée 579
6.5.14.2. Étude de la semelle filante 590
6.5.14.3. Editeur de profil de sol 590
6.5.14.4. Bibliothèque des profils de sol 592
6.5.15. Étude de noyaux et de murs en B.A. - module RC5 592
6.5.15.1. Définir l'armature 597
6.5.15.2. Vérifier les armatures 600
6.5.15.3. Calcul de l'excentricité 602
6.5.15.4. Vérification du cisaillement des murs en béton armé 606
6.5.15.5. Résultats 609
6.5.16. Analyse des contraintes et des déformations structurelles en B.A. - module RC6 611
6.5.16.1. Analyse contrainte-déformation des éléments de poutre et de poteau 611
6.5.16.2. Analyse des paramètres Contraintes - Déformation 613
6.5.16.3. Analyse des déformations et des contraintes 615
6.5.16.4. Résultats 616
6.5.16.5. Analyse contrainte-déformation des éléments surfaciques 617
6.6. Étude acier 619
6.6.1. Étude des poutres en acier selon l'Eurocode 3 - module SD1 619
6.6.1.1. Paramètres d'étude en ELU 625
6.6.1.2. Paramètres d'étude en ELS 633
6.6.1.3. Diagrammes et calculs d'étude 634
6.6.1.4. Optimisation de la section transversale en acier – module SD9 637
6.6.2. Étude au feu de poutres en acier selon l'Eurocode 3 - module SD8 640
6.6.3. Étude des assemblages boulonnés des poutres en acier 649
6.7. Étude bois 654
6.7.1. Étude de poutres en bois - module TD1 654
6.7.1.1. Paramètres de conception de l'ELS 658

6.7.1.2. Paramètres de conception du SLS 660
6.7.2. Étude au feu de poutres en bois - module TD8 665
6.7.3. Optimisation de la section transversale en bois - module TD9 668
6.8. Étude des domaines XLAM - module XLM 669
6.9. Étude de murs en maçonnerie - module MD1 672
6.9.1. Analyse complexe des murs de maçonnerie non renforcés 672
6.9.1.1. Définition des murs en maçonnerie et de leurs paramètres 672
6.9.1.2. Paramètres d'une bande de mur en maçonnerie 676
6.9.1.3. Vérifier le domaine comme un mur de maçonnerie 677
6.9.1.4. Contrôle de l'étude des murs en maçonnerie - définition des paramètres d'étude et de jonction 678
6.9.1.5. Affichage de murs en maçonnerie dans le projet 685
6.9.1.6. Résultats 686
6.9.1.7. Principes de contrôle 691
6.9.1.8. Contrôle d'étude selon l'Eurocode 6 692
6.9.1.9. Contrôle d'étude selon NTC 696
6.9.1.10. Contrôle de conception selon la norme SIA 699
7. AxisVM Viewer et Viewer Expert 703
8. Programmation AxisVM - Module COM 703
9. Exemples 704
9.1. Analyse statique linéaire d'une ossature plane en acier 704
9.2. Analyse géométrique non linéaire statique d'une ossature plane en acier 705
9.3. Analyse du flambement d'une ossature plane en acier 705
9.4. Analyse des oscillations (1er Ordre) d'une ossature plane en acier 707
9.5. Analyse des oscillations (2d Ordre) d'une ossature plane en acier 708
9.6. Analyse statique linéaire d'un porte à faux en béton armé 709
9.7. Analyse statique linéaire d'une plaque en béton armé simplement supportée 710
9.8. Analyse statique linéaire d'une plaque de béton armé fixée 711
10. Références 712

MODULES D'AXISVM

STRUCTURES EN BETON ARME	
RC1 – *Paramètres des armatures surfaciques et calcul des armatures*	*6.5.1 Paramètres des armatures surfaciques et calcul des armatures - module RC1*
RC2 – *Armatures des poteaux*	*6.5.9 Armatures de poteau - module RC2* *6.5.10 Étude de poteaux composites - module RC2*
RC2 – *Armatures des poutres*	*6.5.11 Étude de l'armature des poutres - module RC2*
RC3 – *Analyse du poinçonnement et calcul de la capacité de cisaillement*	*6.5.13 Analyse de poinçonnement - module RC3* *6.5.8 Calcul de la résistance à l'effort tranchant des armatures des plaques et des coques – module RC3*
RC4 – *Conception des semelles ponctuelles et filantes et verifications géotechniques*	*6.5.14 Étude de la semelle de fondation - module RC4*
RC5 – *Conception des noyaux et des murs en béton armé*	*6.5.15 Étude de noyaux et de murs en B.A. - module RC5*
RC6 – *Analyse contrainte-déformation des structures en béton armé*	*6.5.16 Analyse des contraintes et des déformations structurelles en B.A. - module RC6*
RC8-B – *Conception au feu des poutres et des poteaux en béton armé*	*6.5.12 Conception au feu des poutres et poteaux en béton armé - module RC8-B*
PS1 – *Analyse des poutres et des surfaces post-contraintes*	*4.10.28 Tension - module PS1*
STRUCTURES EN ACIER	
SD1 – *Conception des poutres en acier*	*6.6.1 Étude des poutres en acier selon l'Eurocode 3 - module SD1*
SD8 – *Conception au feu des poutres en acier*	*6.6.2 Étude au feu de poutres en acier selon l'Eurocode 3 - module SD8*
SD9 – *Optimisation d'une section transversale en acier*	*6.6.1.4 Optimisation de la section transversale en acier – module SD9*
7DOF – *Poutre élémentaire avec 7 degrés de liberté*	*4.9.9.3 Poutre aux 7 DDL - Module 7 DDL*
SC1 – *Conception des assemblages en acier*	*Le guide des connexions en acier SC1*
STRUCTURES EN BOIS	
TD1 – *Conception des poutres en bois*	*6.7.1 Étude de poutres en bois - module TD1*
TD8 – *Conception au feu des poutres en bois*	*6.7.2 Étude au feu de poutres en bois - module TD8*
TD9 – *Optimisation d'une section transversale en bois*	*6.7.3 Optimisation de la section transversale en bois - module TD9*
XLM – *Analyse et conception des panneaux en bois lamellé-collé*	*6.8 Étude des domaines XLAM - module XLM*
STRUCTURES EN MACONNERIE	
MD1 – *Conception de murs en maçonnerie*	*6.9 Étude de murs en maçonnerie - module MD1*
MODULES POUR L'ANALYSE SISMIQUE	
SE1 – *Analyse du spectre de réponse modale*	*4.10.24 Charges sismiques - module SE1*
SE2 – *Analyse de poussée*	*4.10.25 Charge de poussée - module SE2*
DYN – *Analyse de l'historique temps*	*4.10.30 Charges dynamiques (pour l'analyse temps / événement) - module DYN*
MODULES POUR L'ANALYSE DYNAMIQUE	
FFA – *Calcul du facteur de réponse aux vibrations pour les dalles*	*5.2.1 Facteur de réponse oscillatoire*
DYN – *Analyse dynamique globale*	*5.3 Analyse Dynamique*
GÉNÉRATION DE CHARGES MÉTÉOROLOGIQUES	
SWG – *Génération automatique des charges de neige et de vent*	*4.10.13 Charge de neige - module SWG* *4.10.14 Charge de vent - module SWG*
CFD – *Interface de dynamique des fluides calculée par ordinateur*	*4.10.15 Génération de la charge du vent à partir d'un fichier CFD (Computational Fluid Dynamics) - module CFD.*
COLLABORATION BIM	
SAF, IFC, TI, ALP, REV, DXF – *interfaces avec d'autres logiciels de CAO*	*3.1.6 Exporter* *3.1.7 Importer*
MODULE D'UTILISATION GÉNÉRALE	
IMP – *Imperfections géométriques basées sur des formes de flambement*	*4.10.27 Imperfections géométriques basées sur des formes de flambement.*

1. Nouvelles fonctionnalités de la version X6

Généralités

Ligne de commande et recherche intelligentes	*2.17. Ligne de commande intelligente*
Dispositions spéciales des fenêtres dans le menu Fenêtres	*3.6.6. Dispositions spéciales des fenêtres*
Filtre de sélection amélioré	*2.16.1. Sélection*
Parties logiques par type de domaines spéciaux	*2.16.14 Parties*
Personnalisation d'autres symboles graphiques	*3.3.11.3 Symboles graphiques*

Edition

Masquer les éléments sélectionnés	*2.18 Boutons rapides*
Déplacement de bandes virtuelles avec les éléments sous-jacents	
Système de copie des lignes de grille structurelles	*3.3.5. Lignes guides*
Vérification du maillage en sélectionnant les bords libres	*4.11.4. Selectionner les bordures libres*

BIM et connectivité avec d'autres programmes

Nouveaux composants AxisVM pour Rhino/Grasshopper	*3.1.8.1.Complément GRASSHOPPER/RHINOCEROS*
*L'interface SAF importe et exporte des charges (module **SAF**)*	*3.1.6.6. Exportation au format de fichier SAF* *3.1.7.6 Importation de fichiers SAF*
*L'interface Tekla importe et exporte les connexions d'extrémité de poutre, d'appuis nodaux et appuis linéaires (module **TI**)*	*3.1.6.4. Exportation vers TEKLA STRUCTURES* *3.1.7.4. Importation depuis TEKLA structures*

Éléments

Profilés Double I renforcé paramétrique, I en croix, SFB, IFB, HSQ symétriques et asymétriques	*3.1.16. Bibliothèque de sections transversales*
Edition paramétrique directe de la section transversale des fermes, des poutres et des nervures	*4.9.9.1 Fermes*
Définition directe du renfort simple ou double pour les profils en I	*4.9.9.2 Poutre*
Poutres excentriques	*4.9.9.2.1. Excentricité des poutres et nervures*
*Nouvel élément poutre à 7 degrés de liberté (nouveau module **7DDL**)*	*4.9.9.3. Poutre aux 7 DDL - Module 7 DDL*
Copie des valeurs de rigidité des appuis nodaux d'un tableau Excel vers AxisVM	*4.9.11. Appui nodal*

Chargements

Les cas de charge peuvent être sélectionnés à partir d'une liste déroulante structurée dans l'onglet Charges.	*4.10. Charges*
Nouvelles fonctions de fractionnement des charges	*4.10.34 Fractionner des charges dans des cas de charges distinctes*
Affichage des charges de surface codées par couleur de tous les cas de charge d'un groupe de charges dans une seule vue.	*2.16.5. Codage couleur*
*Génération de charges de vent à partir d'un modèle CFD (nouveau module **CFD**)*	*4.10.15. Génération de la charge du vent à partir d'un fichier CFD (Computational Fluid Dynamics) - module CFD.*

Affichage des charges de neige et de vent avec code couleur	*4.10.4. Charge ponctuelle sur la poutre*
Application de charges excentriques concentrées ou réparties sur les poutres et les nervures.	*4.10.6. Charge linéaire répartie sur la poutre / la nervure*
Options pour gérer les charges multiples	*3.3.2 Options du projet*
La couleur par défaut des charges de surface et linéaires peut être personnalisée.	*3.3.11.3. Symboles graphiques*
Règles permettant de générer des combinaisons personnalisées dans le tableau des combinaisons de groupes de charges critiques	*4.10.2. Combinaisons de charges*
Charges sismiques multiples à partir de différents résultats de vibrations	*4.10.24. Charges sismiques - module SE1*
Définition de la direction des spectres pour l'analyse sismique	*4.10.24. Charges sismiques - module SE1*
Si des charges sismiques ont été générées à partir de résultats de vibrations calculés avec une réduction de la rigidité, deux analyses sont effectuées (avec et sans réduction de la rigidité) et les résultats avec réduction de la rigidité sont affichés uniquement dans les combinaisons comprenant des cas de charges sismiques.	*4.10.24. Charges sismiques - module SE1*
Définition des charges mobiles sur les plans de chargement	*4.10.29. Charges mobiles*
Option d'affichage transparent pour les panneaux de charge	*2.16.4 Modes d'affichage*
Extension de la sélection aux charges ayant la même intensité de composante de charge	*3.6.1. Editeur de propriétés*

Analyse

*Obtention de la forme imparfaite à partir de la ou des formes de flambement (Nouveau module **IMP**)*	*6.2.1. Création d'une géométrie imparfaite à partir de formes de flambement - module IMP*
Analyse non linéaire avec armature calculée à partir de l'enveloppe ELU des résultats non linéaires	*5.1. Analyse statique*

Résultats

Affichage des résultats dans la vue rendue	*2.16.4. Modes d'affichage* *6.1. Statique*
La vue rendue peut afficher la distribution de la contrainte normale dans la section transversale d'une poutre.	*6.1.21. Contrainte dans les fermes, les poutres et les nervures*
*La vue rendue peut afficher simultanément les composantes supérieure et inférieure des contraintes surfaciques, les quantités d'armatures, les valeurs de largeur de fissure (module **RC1**)*	*6.1.22 Contraintes des éléments surfaciques*
Nouvelles combinaisons critiques semi-automatiques	*6.1 Statique*
Filtrage de sélection par n'importe quelle composante du résultat	*2.17. Ligne de commande intelligente*
Mode d'affichage des couleurs bicolores (positif/négatif)	*2.19.4. Fenêtre de légende des couleurs*
Nouvelle option de légende des couleurs permettant de masquer les hachures des valeurs hors limites.	*2.19.4. Fenêtre de légende des couleurs*
Nouvelle option de légende des couleurs	*6.1.1. Valeurs minimales et maximales*

Étude

Assistance de la NAD norvégienne pour l'Eurocode	*6.5.6. Analyse non linéaire des surfaces en B.A.*
*Résultats de fissuration à la fois pour les armatures calculées et appliquées (module **RC1**)*	
*Calcul des armatures requises pour les tabliers métalliques trapézoïdaux renforcés. (module **RC1**)*	*6.5.1.4. Calcul des armatures des dalles composites à hourdis en tôle trapézoïdale selon les normes Eurocode et SIA.*
*Amélioration de la vitesse de calcul des poutres en béton armé par l'utilisation de threads multiples (module **RC2**)*	*6.5.10. Étude de poteaux composites - module RC2*
Composante du résultat de l'effort normal spécifique normalisé pour les poteaux et les poutres en béton armé dans des situations de conception sismique	*6.5.4 Paramètres d'armatures de flexion bi-axiale (poteau)*
	6.5.3 Paramètres d'armatures de flexion uni-axiale (poutre)
Nouvel éditeur de profils de sol et nouvelle bibliothèque de profils de sol	*6.5.14.4 Bibliothèque des profils de sol*
	6.5.14.4 Bibliothèque des profils de sol
*Calcul du cisaillement des murs en béton armé (module **RC5**)*	*6.5.15.4. Vérification du cisaillement des murs en béton armé*
Composantes des résultats des contraintes et déformations des structures surfaciques en béton armé	*6.5.16.5 Analyse contrainte-déformation des éléments surfaciques*
Conception au feu des poteaux et des poutres en béton armé	*6.5.12 Conception au feu des poutres et poteaux en béton armé - module RC8-B*
Mise à jour de la section transversale des éléments de conception en acier et en bois avec la section transversale utilisée dans les calculs de conception (modules SD1 et TD1)	*6.6.1 Étude des poutres en acier selon l'Eurocode 3 - module SD1*
	6.7.1 Étude de poutres en bois - module TD1

Rapports

*Nouveau tableau pour la quantité spécifique d'armature calculée pour chaque domaine (module **RC1**)*	
*Composant de résultat d'utilisation et diagrammes pour les poteaux et murs en béton armé, et les murs en maçonnerie dans le navigateur de tableaux (modules **RC2**, **RC5**, **MD1**).*	*6.5.8. Calcul de la résistance à l'effort tranchant des armatures des plaques et des coques*
*Composant de résultat d'utilisation et diagrammes pour les poteaux en béton armé (module **RC2**)*	
*Dispositions prédéfinies des fenêtres pour vérifier les armatures des colonnes (module **RC2**)*	
*Les valeurs de force personnalisées pour le contrôle d'un poteau en béton armé sont enregistrées avec le poteau (module **RC2**)*	
*Les forces personnalisées pour le contrôle des poteaux peuvent être importées via le presse-papiers (module **RC2**)*	
*Rapport d'étude pour les poteaux en béton armé (module **RC2**)*	
*Le rapport d'étude acier comprend les paramètres de la section transversale effective et les appuis latéraux (module **SD1**).*	
*Nouvelles caractéristiques de la conception des assemblages boulonnés (module **SC1**)*	*Le guide des connexions en acier SC1*

2. Comment utiliser AxisVM

Bienvenue à AxisVM !

AxisVM est un programme à éléments finis pour l'analyse statique, vibratoire et de flambement des structures. Il a été développé par et spécialement pour les ingénieurs civils. AxisVM combine de puissantes capacités d'analyse avec une interface utilisateur graphique facile à utiliser.

Prétraitement Modélisation : outils de géométrie (points, lignes, surfaces) ; maillage automatique ; bibliothèques de matériaux et de sections transversales ; outils d'éléments et de chargement, importation/exportation de géométrie CAO (DXF) ; interface avec des logiciels d'étude architecturale comme ArchiCAD de Graphisoft via IFC pour créer directement une ossature de projet.
À chaque étape du processus de modélisation, vous recevrez une vérification graphique de vos progrès. Une commande d'annulation/rétablissement à plusieurs niveaux et une aide en ligne sont disponibles.

Analyse Statique, vibration et flambement

Post-traitement Affichage des résultats : affichage des formes déformées/non déformées ; diagramme et tracé des iso-lignes/surfaces ; animation ; rapports tabulaires personnalisables.
Après votre analyse, AxisVM fournit des outils de visualisation puissants qui Cette commande vous permettent d'interpréter rapidement vos résultats, ainsi que des outils numériques pour rechercher, rapporter et effectuer des calculs supplémentaires en utilisant ces résultats. Les résultats peuvent être utilisés pour afficher la forme déformée ou animée de votre géométrie ou les tracés d'isolignes/surfaces. AxisVM peut combiner ou envelopper les résultats de manière linéaire.

Rapports L'établissement de rapports fait toujours partie de l'analyse, et une interface utilisateur graphique améliore le processus et simplifie l'effort. AxisVM fournit une impression directe et de haute qualité des données textuelles et graphiques pour documenter votre projet et vos résultats. En outre, les données et les graphiques peuvent être facilement exportés (DXF, BMP, JPG, WMF, EMF, RTF, HTML, TXT, DBF).

2.1. Exigences en matière de matériel

Le tableau ci-dessous indique les exigences minimales/recommandées en matière de matériau et de logiciels, afin que vous puissiez bénéficier d'une productivité maximale avec AxisVM.

Configuration recommandée
16 GO DE RAM
50 Go d'espace libre sur le disque dur
Moniteur couleur 17" (ou plus grand), au moins 1920x1080 pixels
Un processeur double ou multicœurs de plus de 2 GHz
Système d'exploitation Windows10 64 bits
Souris ou autres dispositifs de pointage
Imprimante laser ou à jet d'encre compatible avec Windows

Configuration minimale
2 GO DE RAM
10 Go d'espace libre sur le disque dur
Moniteur couleur de 15 pouces, résolution minimale de 1024x768
Souris
Windows 7

Systèmes d'exploitation supportés
Windows 11, Windows 10, Windows 8, Windows 7, Windows Server 2008 (systèmes d'exploitation 32 ou 64 bits)
Partiellement pris en charge (certains compléments ou plug-ins ne fonctionnent pas): Windows Vista, Windows XP/ SP3, Windows Server 2003/SP1

Accès à la mémoire Versions 64 bits et 32 bits
Il est très important d'atteindre plus de mémoire car cela accélère considérablement l'analyse.
La **version** native **64 bits de l'AxisVM X6** ne fonctionne que sur les systèmes d'exploitation 64 bits. Elle a un accès direct à la mémoire physique et ne nécessite donc aucun autre réglage.
La **version 32 bits de l'AxisVM X6** fonctionne sur les systèmes d'exploitation 32 et 64 bits. Elle a un accès direct aux 2 Go inférieurs de la mémoire physique.

2.2. Protection et installation

Le logiciel est protégé par une clé matérielle ou logicielle.

2.2.1. Clé matérielle

Grâce à une protection par clé matérielle, le logiciel peut être installé sur plusieurs ordinateurs mais ne peut être lancé que si la clé matérielle est branchée. Ne branchez la clé qu'une fois l'installation terminée, car certains systèmes d'exploitation essaient de reconnaître le périphérique branché et ce processus peut interférer avec l'installation du pilote.

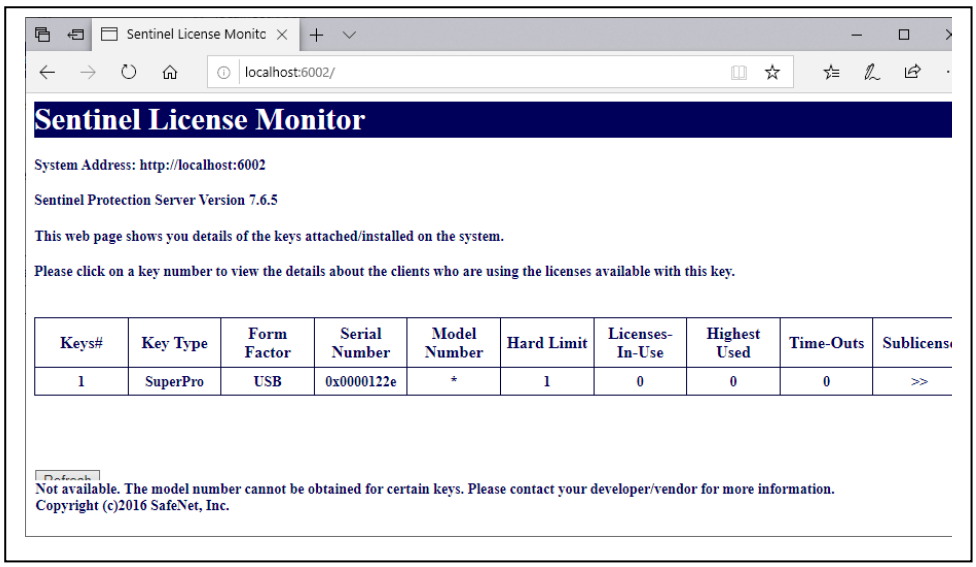
Clé matérielle Super Pro

Le dispositif de protection le plus courant est la clé matérielle Sentinel SuperPro, disponible sous forme de licence réseau pour un ou plusieurs utilisateurs. Une licence unique peut être utilisée sur un seul ordinateur (sur les réseaux Windows Terminal Server sur un seul terminal).
Le fonctionnement de la clé matérielle nécessite un pilote. Il est automatiquement installé par l'installateur AxisVM, mais en cas de panne, l'installation peut être effectuée ultérieurement.
Après avoir terminé l'installation d'AxisVM, cherchez le dossier *Sentinel* et lancez l'*installateur de protection Sentinel à* partir de là. Si vous avez une clé USB d'installation, lancez *Startup.exe* et choisissez ***Reinstall driver***.

Clé du matériau réseau Super Pro

Si vous avez une licence réseau, vous devez installer la clé de réseau. Dans la plupart des cas, AxisVM et la clé se trouvent sur des ordinateurs différents, mais pour rendre la clé disponible par le réseau, le pilote Sentinel doit être installé sur les *deux* ordinateurs à l'aide de l'*installateur de protection Sentinel.*
Les clés réseau peuvent être utilisées aussi bien sur des réseaux locaux (LAN) que sur des réseaux distants (VPN).
Une fois l'installation terminée, un service appelé *Sentinel Protection Server* est lancé pour établir une connexion entre la clé matérielle branchée sur la machine serveur et les machines clientes. Les licences réseau permettent d'exécuter autant de copies d'AxisVM sur le réseau que le nombre de licences achetées. Les copies lancées sont enregistrées dans la clé matérielle. La fermeture de la copie supprime l'enregistrement, ce qui rend la licence disponible sur d'autres machines. Si l'application ne répond plus pour une raison quelconque, l'enregistrement n'est pas supprimé immédiatement. La licence ne sera disponible qu'après 3 minutes lorsque l'absence de réponse est détectée par le serveur.

Le fabricant de la clé matérielle fournit un outil appelé *Sentinel License Monitor* pour vérifier les licences réseau actuellement enregistrées, le nombre de licences libres et supprimer les licences non conformes si nécessaire. Pour exécuter cet outil, démarrez votre navigateur Internet et saisissez l'adresse IP du réseau local du serveur (c'est-à-dire la machine sur laquelle la clé matérielle est branchée) et ajoutez une référence au port 6002, par exemple : http://192.168.18.167:6002. Si vous lancez le navigateur internet sur la machine où la clé matérielle est branchée, vous pouvez taper simplement *http://localhost:6002*.



☞ **CONFIGURATION DU PARE-FEU** : Activez les protocoles TCP / IP et UDP sur les ports 6001 et 6002 du pare-feu pour assurer le fonctionnement du réseau.

L'accès aux clés de réseau Sentinel SuperPro

Ce paramètre est nécessaire pour une connexion VPN.
Si AxisVM est lancé sur une machine cliente, il commence à rechercher sur le réseau les clés de réseau disponibles, en vérifiant chaque ordinateur exécutant Sentinel Pro Server, que la clé soit branchée ou non. Cela peut ralentir le processus de recherche. Pour améliorer la vitesse de connexion, il est recommandé de créer une variable d'environnement NSP_HOST sur la machine cliente, en spécifiant l'adresse IP du réseau local de l'ordinateur qui détient la clé, par exemple NSP_HOST = 192.168.0.23.

Dans le cas de plusieurs clés de réseau, il est possible de définir les variables d'environnement NSP_HOST1, ..., NSP_HOST5 identifiant les ordinateurs avec des clés. Le nombre maximum de clés pouvant être traitées de cette manière est de cinq.

Pour exécuter AxisVM sur n'importe quel ordinateur du réseau, le serveur SuperPro doit être en cours d'exécution sur le serveur. S'il s'arrête, tous les programmes AxisVM en cours d'exécution s'arrêtent.

Clé matérielle Sentinel HL

La clé **Sentinel HL** est un nouveau type de dispositif de protection qui ne nécessite pas l'installation d'un pilote. En la branchant sur le port USB, le système d'exploitation Windows l'identifie comme un HID (Human Interface Device).
Les clés Sentinel HL ont également des projets d'utilisateur unique et de réseau. Une seule licence peut être utilisée sur un seul ordinateur (sur les réseaux Windows Terminal Server sur un seul terminal).

Clé du matériau informatique du réseau Sentinel HL

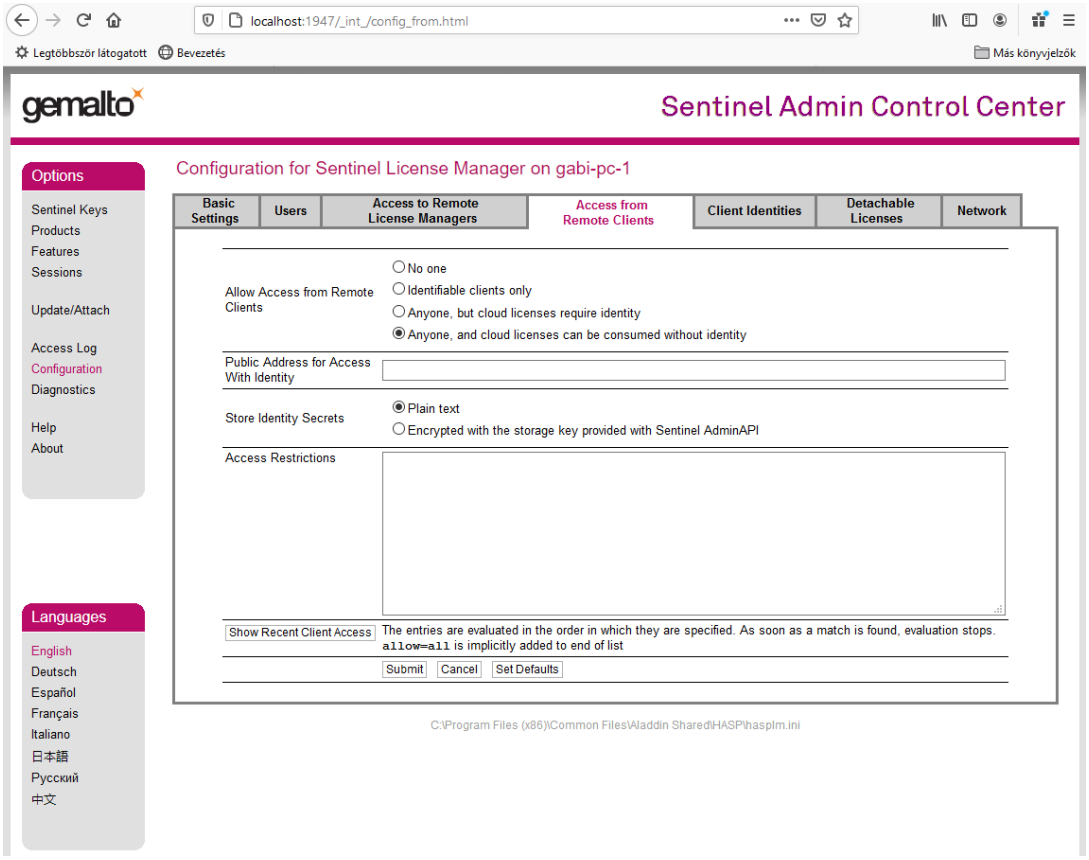
Les clés réseau peuvent être utilisées aussi bien sur des réseaux locaux (LAN) que sur des réseaux distants (VPN). Connectez la clé à une machine pour l'utiliser comme serveur de licence de clé et installer des copies d'AxisVM sur les machines clientes. L'environnement d'exécution Sentinel doit être installé à la fois sur le serveur et sur tous les clients en lançant Install Sentinel Runtime situé dans le dossier Sentinel LDK sous le dossier AxisVM créé lors de l'installation du programme.
L'environnement d'exécution Sentinel fournit une connexion entre la clé matérielle branchée sur la machine serveur et les machines clientes. Si l'environnement ne fonctionne pas, AxisVM ne peut pas être lancé sur les machines clientes. L'environnement d'exécution Sentinel fournit une connexion entre la clé matérielle branchée sur la machine serveur et les machines clientes. Si l'environnement ne fonctionne pas, AxisVM ne peut pas être lancé sur les machines clientes.
Pour acheter des licences supplémentaires pour une clé de réseau, exécutez le *centre de contrôle administratif* (voir ci-dessous), choisissez Clés *Sentinelle* dans le menu de gauche et choisissez la clé de réseau appropriée dans la liste. Cliquez sur l'icône *C2V à* droite pour enregistrer un fichier *c2v.* Envoyez ce fichier à votre distributeur avec votre commande de licence. Votre distributeur enverra un fichier *v2c* avec les licences supplémentaires. Enregistrez-le sur votre machine. Pour mettre à jour le nombre de licences, choisissez "*Update/Attach*" dans le menu de gauche, puis recherchez le fichier *v2c que vous avez* enregistré. Cliquez sur le bouton *Ouvrir* pour transférer les informations de licence vers la clé de réseau. Les nouvelles licences seront disponibles.

☞ **CONFIGURATION DU PARE-FEU**: Activez les protocoles TCP / IP et UDP sur le port 1947 du pare-feu pour assurer le fonctionnement du réseau.

Configuration du serveur et des ordinateurs clients

Pour assurer le bon fonctionnement d'une clé Sentinel HL, le centre de contrôle Sentinel Admin doit être configuré sur les machines serveur et client.

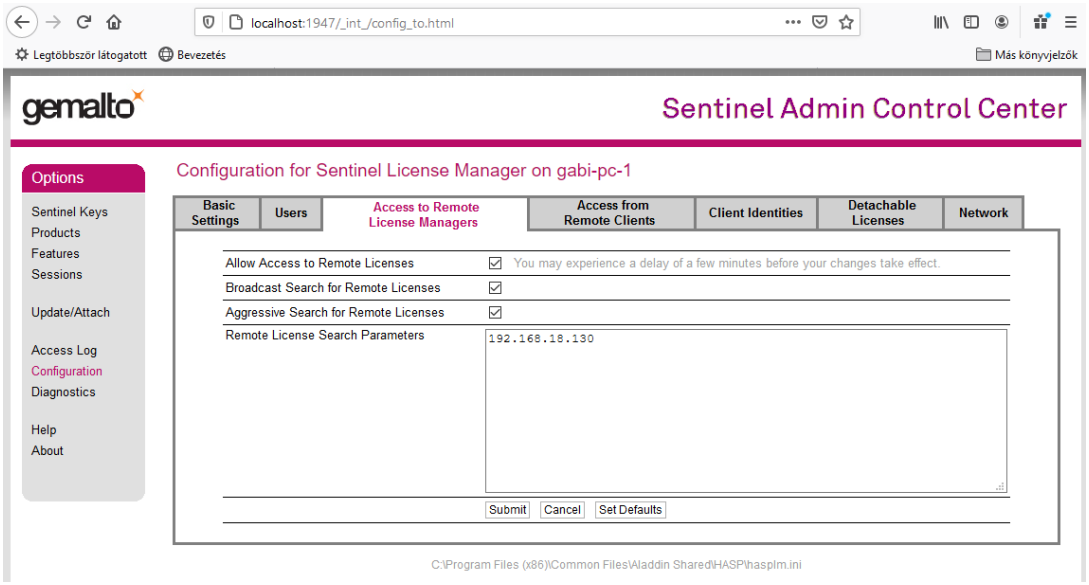
Serveur
Ouvrez le navigateur Web et tapez localhost:1947 pour accéder au Sentinel Admin Control CEntrée. Allez à l'onglet Accès depuis les clients distants et définissez Anyone sous Allow Access from Remote Clients.



Client

Ouvrez le navigateur Web et tapez localhost:1947 pour accéder au centre de contrôle administratif Sentinel. Allez sur l'onglet Accès au gestionnaire de licences à distance et activez les options Autoriser l'accès aux licences à distance, Diffuser la recherche de licences à distance et Recherche agressive de licences à distance. Saisissez l'adresse IP du serveur dans le champ Paramètres de recherche de licence à distance et cliquez sur le bouton Soumettre.

Si le serveur et les clients sont correctement configurés, choisir Clés Sentinel dans la liste des options à gauche affiche une liste de toutes les clés Sentinel HL et SL installées.



2.2.2. Clé logicielle

La protection de la clé logicielle par une licence installée remplace la clé matérielle branchée sur un port USB. Les licences de clé logicielle sont également disponibles en version locale ou réseau. Une licence locale permet d'exécuter AxisVM sur un seul ordinateur, où la clé logicielle est installée. Une licence réseau permet un nombre limité d'utilisateurs simultanés sur le réseau local.

Les clés logicielles peuvent être transférées sur une autre machine à l'aide d'un outil (voir plus loin). Après le transfert d'une licence logicielle, le programme ne s'exécute que sur l'autre machine et ne fonctionne pas sur la première.

La licence du logiciel est liée aux éléments matériaux de l'ordinateur, par conséquent toute modification du matériau (remplacement de la carte mère, du processeur, de la carte Ethernet, du disque dur) invalidera la licence.

Pour éviter une telle perte, la licence doit être transférée temporairement sur une autre machine **avant de** changer le matériau, de remplacer l'élément matériau puis de transférer la licence depuis l'autre machine.

Clé logicielle Sentinel SL

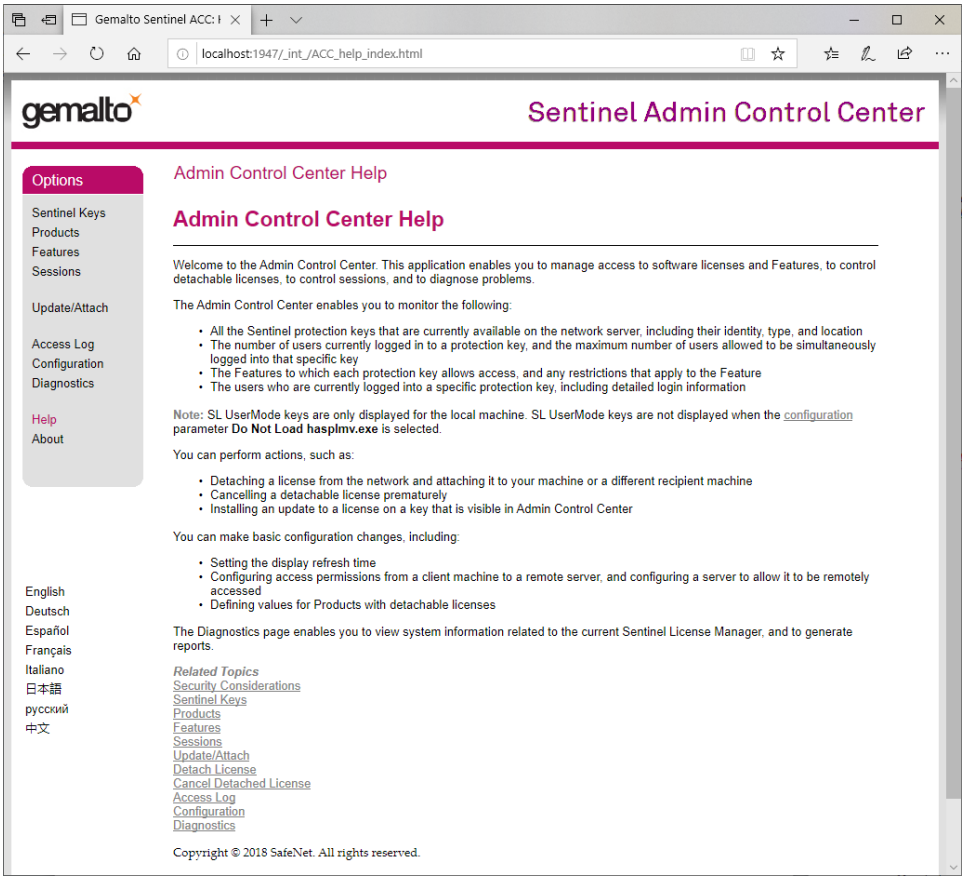
Sentinel SL n'est pas un dispositif physique attaché à un port mais une clé logicielle spécifique au matériau donné. Elle ne peut pas être copiée directement mais peut être transférée sur une autre machine en utilisant l'outil RUS du paquet de protection (voir détails ci-dessous).
La clé logicielle peut être une solution raisonnable si le stockage, la connexion ou la protection de la clé physique posent des problèmes.
Comme la clé logicielle est stockée sur le disque dur / SSD de la machine, des virus, des logiciels malveillants ou des failles dans la mise à jour du système d'exploitation peuvent corrompre la clé. Dans ce cas, une autre clé logicielle doit être achetée.

Installation de L'environnement d'exécution HASP Sentinel

Une clé logicielle nécessite l'installation de l'environnement d'exécution Sentinel.
Téléchargez-le sur *www.axisvm.eu* (vous le trouverez sous Downloads / Sentinel driver) ou cherchez *InstallSentinelRuntime.exe* dans le dossier Sentinel LDK de votre installation AxisVM.

Centre de contrôle de l'administration sentinelle

Pour vérifier l'état de l'environnement, lancez votre navigateur Internet sur le serveur puis type *http://localhost:1947*. Le centre de contrôle de l'administration sentinelle s'affichera.



Le centre de contrôle administrateur Sentinel fournit une vue d'ensemble des clés Sentinel HL et SL, des informations sur leur exploitation et aide à déconnecter les clients des licences. Choisissez *Sentinel Keys dans* le menu de gauche pour afficher la liste des clés disponibles sur le réseau.
Si plusieurs clés matérielles sont branchées et que vous n'êtes pas sûr de celle qui appartient à AxisVM, sélectionnez *Produits dans* le menu de gauche. La liste des clés sera réorganisée par produits protégés. Cherchez celui qui protège AxisVM.

Demander une licence pour le logiciel Sentinel SL

Une clé logicielle nécessite l'installation de l'environnement d'exécution Sentinel. Voir Installation de l'environnement d'exécution HASP Sentinel ci-dessus pour les détails. Une fois l'installation terminée, exécutez l'application RUS_AxisVM_En.exe à partir du sous-dossier Sentinel Runtime du dossier d'installation d'AxisVM. Pour demander une licence de logiciel, sélectionnez l'option *Installation d'une nouvelle clé de protection en* bas et cliquez sur le bouton *Recueillir les informations.*
Enregistrez le fichier avec l'extension *c2v* généré par cette application et envoyez-le en pièce jointe à un courriel de demande de licence à votre distributeur AxisVM.

Appliquer une Sentinel SL licence de logiciel

La licence du logiciel est un fichier *v2c* envoyé par votre distributeur. Enregistrez-le sur votre ordinateur. Exécutez l'application *RUS_AxisVM_Fr.exe à* partir du sous-dossier *Sentinel Runtime* dans le dossier d'installation d'AxisVM. Choisissez l'onglet "*Apply License File*" et entrez le nom du fichier avec le chemin complet dans le champ "*Update File*" ou cliquez sur le bouton [...] pour naviguer.
En cliquant sur le bouton "*Apply Update*", *vous* activez la licence du logiciel.
Vérifiez votre licence à l'aide de l'outil *Admin Control Center* (voir ci-dessus). Choisissez *Sentinel Keys* dans le menu de gauche, et vérifiez si votre licence Sentinel SL apparaît dans la liste.

Sentinel SL Transfert de licence

Une licence de logiciel peut être transférée sur une autre machine. Une fois le transfert terminé, AxisVM ne fonctionnera que sur l'autre machine (fonctionne comme une clé de protection matérielle retirée et branchée sur l'autre machine). Pour transférer la licence, exécutez également l'application *RUS_AxisVM_Fr.exe* sur l'autre machine, sélectionnez l'onglet *Transfert de licence* et générez un fichier d'informations sur le destinataire *(*.id)* et copiez ce fichier sur la première machine. Retournez sur la première machine, sélectionnez l'onglet Transfer *License*, allez dans le champ *Read the recipient information file from,* cliquez sur le bouton [...] et chargez le fichier **.id que* vous avez copié depuis l'autre machine, remplissez le champ Generate the license transfer file *to* puis cliquez sur le bouton *Generate License Transfer File.* Copiez le fichier généré avec l'extension *h2h sur l*'autre machine, allez là, sélectionnez l'onglet *Appliquer le fichier de licence,* allez dans le champ Fichier de *mise à jour,* recherchez le fichier *h2h* que vous avez copié et cliquez sur *Appliquer la mise à jour*.

Configuration du serveur et des machines clientes

Pour garantir le bon fonctionnement d'une clé logicielle, le centre de contrôle Sentinel Administrateur doit être configuré sur les machines serveur et client de la même manière que celle décrite à la fin du chapitre précédent.

2.2.3. Installation

Préparation de l'installation d'AxisVM sur un Mac

Les Macs ont un petit nombre de logiciels professionnels d'analyse structurelle sur le marché, la plupart des programmes ne supportent que Windows.

Si vous voulez faire fonctionner AxisVM sur votre Mac, voici quelques moyens pour y parvenir:

1. Machines virtuelles

Nous recommandons d'utiliser un programme de machine virtuelle, idéalement *Parallels* ou *VMWare Fusion*, pour exécuter des applications Windows sur un Mac sans redémarrage. Pour des performances maximales, nous recommandons plutôt de redémarrer Windows avec Boot Camp.

Une machine virtuelle est l'un des meilleurs moyens d'exécuter un logiciel de bureau Windows. Elle Cette commande vous permet d'installer Windows et d'autres systèmes d'exploitation dans une fenêtre sur le bureau de votre Mac. Windows pensera qu'il fonctionne sur un ordinateur réel, mais vous aurez besoin d'une licence Windows pour installer Windows dans une machine virtuelle. Si vous avez déjà une clé de produit, vous pouvez télécharger gratuitement l'appui d'installation de Windows et l'installer dans un programme de machine virtuelle. Les programmes de machines virtuelles les plus populaires pour Mac comprennent Parallels et VMware Fusion. Chacun de ces programmes est payant, vous devrez donc acheter une licence Windows et une copie du programme de machine virtuelle de votre choix. Parallels et VMWare Fusion offrent tous deux des essais gratuits, ce qui Cette commande vous permet d'essayer tous ces programmes et de décider lequel vous convient le mieux.

2. Boot Camp

Le *Boot Camp d'*Apple Cette commande vous permet d'installer Windows en même temps que MacOS sur votre Mac. Un seul système d'exploitation peut fonctionner à la fois, vous devrez donc redémarrer votre Mac pour passer de MacOS à Windows.

Lorsque vous installez Windows sur votre Mac, vous pourrez utiliser Windows et les applications Windows avec le maximum de performances. Votre Mac fonctionnera aussi bien qu'un PC Windows avec les mêmes spécifications.

L'inconvénient est que vous ne pouvez pas faire tourner des applications MacOS et des applications Windows nervure à nervure en même temps. Si vous souhaitez simplement exécuter une application de bureau Windows en même temps que vos applications Mac, une machine virtuelle sera probablement idéale. Par contre, si vous voulez jouer aux derniers jeux Windows sur votre Mac, Boot Camp sera idéal.

Comme pour les machines virtuelles, vous aurez besoin d'une licence Windows pour installer Windows sur votre Mac.

3. Bureau à distance

Si vous disposez déjà d'un système Windows, vous pouvez sauter complètement l'étape d'exécution des logiciels Windows sur votre Mac et utiliser un logiciel de bureau à distance pour accéder à la machine Windows depuis le bureau de votre Mac.

☞ **Lorsqu'ils utilisent un *bureau à distance*, les utilisateurs ont besoin d'une licence réseau (y compris une licence réseau pour utilisateur unique) pour lancer AxisVM sur Mac.**

Installation

Si vous avez téléchargé l'application d'installation depuis notre site web, exécutez-la. Sinon, connectez la clé USB d'installation Ax-isVM. Le programme de démarrage démarre automatiquement si l'option de lecture automatique est activée. Si l'option autoplay n'est pas activée, cliquez sur le bouton Start, et sélectionnez *Run*..... Ouvrez le programme Startup.exe à partir du lecteur flash USB. Sélectionnez AxisVM X6 Setup et suivez les instructions.

Installation sous le système d'exploitation Vista/Windows 7/Windows 8 / Windows 10:

- Vous avez besoin du dernier pilote Sentinel. Vous pouvez le télécharger sur *www.axisvm.eu - Downloads / Sentinel Driver*. (en bas de la fenêtre de gauche).
- Cliquez avec le bouton droit de la souris sur l'icône du programme après l'installation d'AxisVM
- Choisissez l'élément de menu *Propriétés dans* le menu rapide.
- Sélectionnez l'onglet *Compatibilité dans* la boîte de dialogue qui apparaît et cochez la case *Exécuter en tant qu'administrateur*.

Par défaut, l'application et les projets d'exemple seront installés sur le lecteur C: dans

`C:\AxisVM_X6` et `C:\AxisVM_X6\Exemples`

des dossiers. Vous pouvez spécifier le lecteur et les dossiers lors du processus d'installation. Le programme d'installation crée le groupe de programmes AxisVM qui comprend l'icône de l'application AxisVM.

L'application peut être installée dans le dossier habituel C: \ Program Files \ AxisVM_X6 (C: \ Program Files (x86) \ AxisVM_X6 sous les systèmes d'exploitation 64 bits). Toutefois, dans ce cas, la propriété *Exécuter en tant qu'administrateur* doit être définie pour AxisVM.exe, AxisVM_x64.exe \ IDTFConverter \ DTFConverter.exe. Trouvez ces fichiers via le menu *Démarrer / Ordinateur,* cliquez avec le bouton droit de la souris sur les fichiers et choisissez *Propriétés dans le* menu contextuel, allez à l'onglet *Compatibilité,* trouvez le *niveau de privilège* et activez l'option ci-dessus. Les utilisateurs sans droits d'administration doivent demander à l'administrateur de définir un accès en écriture au dossier C: \ Program Files \ AxisVM_X6 (voir *Permissions* sous l'onglet *Sécurité).*

Versions 32/64 bits

Sur les systèmes d'exploitation 64 bits, l'utilisateur peut choisir d'installer soit la version 32 bits, soit la version 64 bits d'AxisVM. L'installation de la version 64 bits copie également la version 32 bits sur le disque dur mais aucun raccourci n'est créé sur le bureau pour ce fichier. Sur les systèmes d'exploitation 32-bit, seule la version 32-bit est installée.

☞ **Il n'est pas recommandé d'installer AxisVM dans le dossier c:\Program Files car le programme qui y est placé ne peut être lancé qu'avec des droits d'administration et il peut y avoir des échecs dans les bibliothèques en cours d'exécution comme le générateur de PDF 3D.**

Installation silencieuse

Le logiciel peut être installé en mode silencieux en utilisant la ligne de commande. Le programme d'installation accepte des paramètres linéaire de commande optionnels. Ceux-ci peuvent être utiles aux administrateurs système et aux autres programmes appelant le programme d'installation.

Deux exemples typiques sont présentés ci-dessous en considérant les versions 32 et 64 bits:

En cas de version 64 bits:
setup.exe /VERYSILENT /SUPPRESSMSGBOXES /NORESTART /Dir="C:\AxisVMX6" lang=nl NoIcons=0 types=64bits Tasks=extensions1,extensions2

Dans le cas d'une version 32 bits:
setup.exe /VERYSILENT /SUPPRESSMSGBOXES /NORESTART /Dir="C:\AxisVMX6" lang=nl NoIcons=0 types=32bits Tasks=extensions1,extensions2

La configuration d'AxisVM est faite par l'installateur d'Inno Setup. Les paramètres optionnels les plus importants de la ligne de commande sont énumérés ci-dessous. Pour plus d'informations, veuillez consulter l'aide d'Inno Setup.

/SP-
Désactive la fonction Ceci installera... Voulez-vous continuer ? invite au début de l'installation. Bien sûr, cela n'aura aucun effet si la directive de la section transversale DisableStartupPrompt [Setup] était définie sur oui.

/SILENCIEUX, /TRÈS SILENCIEUX
Demande à Setup d'être silencieux ou très silencieux. Lorsque l'installation est silencieuse, l'assistant et la fenêtre d'arrière-plan ne sont pas affichés, mais la fenêtre de progression de l'installation l'est. Lorsqu'une installation est très silencieuse, la fenêtre de progression de l'installation n'est pas affichée. Tout le reste est normal, par exemple les messages d'erreur pendant l'installation sont affichés et l'invite de démarrage est (si vous ne l'avez pas désactivée avec DisableStartupPrompt ou l'option linéaire de commande '/SP-' expliquée ci-dessus).

Si un redémarrage est nécessaire et que la commande "/NORESTART" n'est pas utilisée (voir ci-dessous) et que le système est silencieux, il affichera un message "Reboot now ? S'il est très silencieux, il redémarrera sans demander.

/SUPPRESSMSGBOXES
Demande à la configuration de supprimer les boîtes de message. N'a d'effet que lorsqu'il est combiné avec "/SILENT" et "/VERYSILENT".

La réponse par défaut dans les situations où il y a un choix est:

- Oui, dans une situation de "tenue d'un nouveau dossier".
- Non dans une situation de "Fichier existe, confirmez l'écrasement".
- Abandon dans les situations d'avortement et de rechute.
- Annuler dans les situations Retry/Cancel.
- Oui (=continuer) dans une situation DiskSpaceWarning/DirExists/DirDoesntExist/NoUninstallWarning/ExitSetupMessage/ConfirmUninstall.
- Oui (= redémarrage) en cas de message de redémarrage terminé/non installé et de besoin de redémarrage.

5 boîtes de messages ne sont pas supprimables:

- La boîte de message "À propos de la configuration".
- La boîte de message Exit Setup ?
- La boîte de message FileNotInDir2 s'est affichée lorsque la configuration nécessite l'insertion d'un nouveau disque et que celui-ci n'a pas été trouvé.
- Toute boîte de message (d'erreur) affichée avant l'installation (ou la désinstallation) pourrait lire les paramètres de la ligne de commande.
- Toute boîte de message affichée par la fonction d'appui [Code] MsgBox.

/LOG

L'installation crée un fichier journal dans le répertoire TEMP de l'utilisateur, détaillant l'installation du fichier et les actions [Run] effectuées pendant le processus d'installation. Cela peut être une aide utile au débogage. Par exemple, si vous pensez qu'un fichier n'est pas remplacé alors que vous pensez qu'il devrait l'être (ou vice versa), le fichier journal vous indiquera si le fichier a vraiment été ignoré et pourquoi.

Le fichier journal est créé avec un nom unique basé sur la date du jour. (Il n'écrasera pas les fichiers existants ni ne s'y ajoutera).

Les informations contenues dans le fichier journal sont de nature technique et ne sont donc pas destinées à être comprises par les utilisateurs finaux. Il n'est pas non plus conçu pour être séparable par machine ; le format du fichier est susceptible d'être modifié sans préavis.

/LOG="filename"

Identique à /LOG, sauf qu'il Cette commande vous permet de spécifier un chemin/nom de fichier fixe à utiliser pour le fichier journal. Si un fichier avec le nom spécifié existe déjà, il sera écrasé. Si le fichier ne peut pas être créé, la configuration s'interrompt avec un message d'erreur.

/NOCANCEL

Empêche l'utilisateur d'annuler pendant le processus d'installation, en désactivant le bouton "Annuler" et en ignorant les clics sur le bouton "Fermer". Utile avec "/SILENT" ou "/VERYSILENT".

/NORESTART

Donne des instructions à la configuration pour qu'elle ne redémarre pas même si cela est nécessaire.

/LANG=langue

Spécifie la langue à utiliser. language spécifie le nom interne de la langue comme spécifié dans une entrée de la section transversale [Languages].

Lorsqu'un paramètre /LANG valide est utilisé, la boîte de dialogue Sélectionner la langue est supprimée.

/DIR="x:\dirname"

Remplace le nom de répertoire par défaut affiché sur la page de l'assistant de sélection du lieu de destination. Un chemin d'accès complet doit être spécifié.

/GROUPE="nom du dossier"

Remplace le nom de dossier par défaut affiché sur la page de l'assistant de sélection du dossier du menu Démarrer. Si la directive de la section transversale [Setup] DisableProgramGroupPage a été définie sur oui, ce paramètre linéaire de commande est ignoré.

/NOICONS

Demande à la configuration de cocher initialement la case Ne pas créer de dossier de menu de démarrage sur la page de l'assistant de sélection du dossier de menu de démarrage.

/TYPE=nom du type

Remplace le type de configuration par défaut.

Si le type spécifié existe et n'est pas un type personnalisé, alors tout paramètre /COMPONENTS sera ignoré.

/COMPONENTS="liste de noms de composants séparés par des virgules"

Remplace les paramètres par défaut des composants. L'exploitation de ce paramètre linéaire de commande entraîne la sélection automatique d'un type personnalisé par le Setup. Si aucun type personnalisé n'est défini, ce paramètre est ignoré.

Seuls les éléments spécifiés seront sélectionnés, les autres seront désélectionnés.

Si le nom d'un composant est préfixé par un caractère "*", tous les composants enfants seront également sélectionnés (sauf ceux qui comportent le drapeau dontinheritcheck). Si le nom d'un composant est préfixé par un caractère " !", le composant sera désélectionné.

Ce paramètre ne modifie pas l'état des composants qui incluent le drapeau fixe.

Exemple:

Désélectionnez tous les composants, puis sélectionnez les composants "aide" et "compléments":

/COMPOSANTS="help,compléments"

Exemple:

Désélectionnez toutes les composantes, puis sélectionnez une composante parentale et tous ses enfants à l'exception d'un seul:

/COMPOSANTS="*parent,!parent\child"

/TASKS="liste de noms de tâches séparés par des virgules"

Spécifie une liste de tâches qui doivent être sélectionnées initialement.

Seules les tâches spécifiées seront sélectionnées, les autres seront désélectionnées. Utilisez plutôt le paramètre /MERGETASKS si vous souhaitez conserver l'ensemble des tâches par défaut et n'en sélectionner/désélectionner qu'une partie.

Si un nom de tâche est précédé d'un caractère "*", toutes les tâches enfantines seront également sélectionnées (sauf celles qui comportent le drapeau dontinheritcheck). Si le nom d'une tâche est précédé d'un caractère " !", la tâche sera désélectionnée.

Exemple:

Désélectionnez toutes les tâches, puis sélectionnez les tâches "desktopicon" et "fileassoc":

/TASKS="desktopicon,fileassoc"

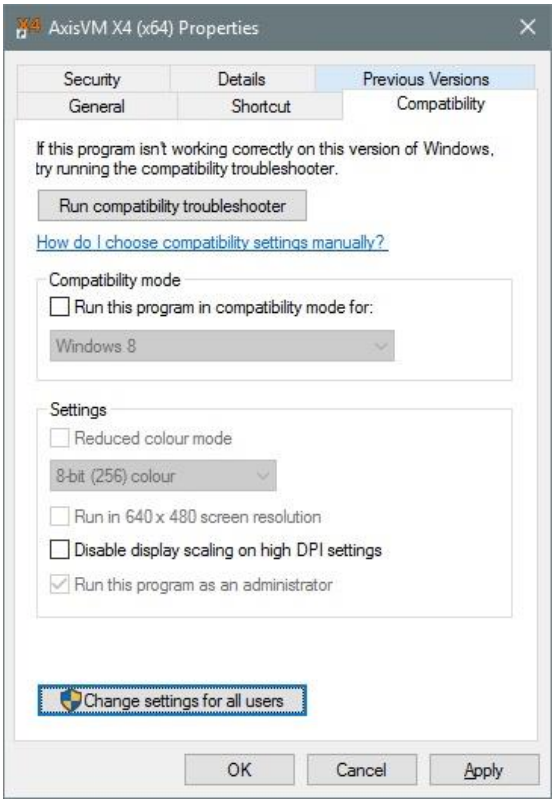
Exemple:

Désélectionnez toutes les tâches, puis sélectionnez une tâche parentale et tous ses enfants à l'exception d'un seul:

/TASKS="*parent,!parent\child"

Le programme d'installation crée automatiquement un raccourci sur le bureau pour AxisVM X6.
Cliquez sur l'icône pour lancer AxisVM.
Selon les paramètres de sécurité du système d'exploitation, un avertissement de sécurité peut apparaître. Cliquez sur Oui et continuez.
Si AxisVM ne démarre pas, définissez les droits de l'utilisateur comme suit.

- Cliquez avec le bouton droit de la souris sur l'icône AxisVM.
- Sélectionnez *Propriétés* dans le menu contextuel
- Allez dans l'onglet *Compatibilité,* et cochez *Exécuter ce programme en tant qu'administrateur*



Si vous avez des droits d'administrateur mais que le programme ne démarre pas, vérifiez les points suivants:

1. ***Si un message s'affiche avec un code d'erreur***, veuillez vérifier si la clé matérielle est correctement connectée et si la LED verte est allumée. Si aucune lumière n'est visible, il se peut que le port USB soit hors service.
2. ***Si aucun message n'apparaît***, mais que le programme ne démarre pas, vérifiez votre programme antivirus (voir ci-dessous).

Exécution des modules complémentaires

Vous pouvez utiliser les modules complémentaires créés pour AxisVM par des développeurs externes - ou par vous-même. Pour exécuter ces programmes, le serveur COM AxisVM doit être enregistré dans le registre Windows. Si vous avez installé AxisVM avec des droits d'administration, cet enregistrement est déjà effectué. Si l'enregistrement a échoué, vous pouvez exécuter le programme !Register_AxisVM.bat (sur les systèmes d'exploitation 32 bits) ou !Register_AxisVM_x64.bat (sur les systèmes d'exploitation 64 bits) avec des droits d'administration.

☞ **Les modules complémentaires 32 bits lancent la version 32 bits et ne sont compatibles qu'avec celle-ci. Les modules complémentaires 64 bits ne peuvent être utilisés que sur les versions 64 bits.**

Fausses alertes aux virus

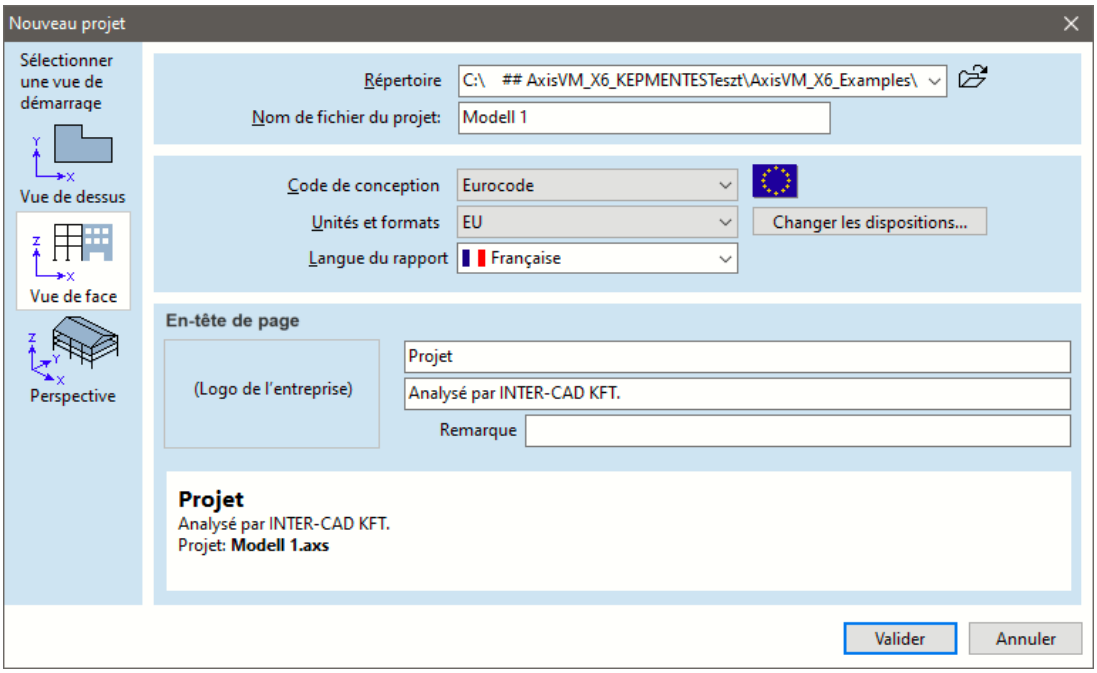
Certains produits antivirus fonctionnant sur le PC peuvent envoyer une fausse alarme lors de l'installation. Cela est dû à des algorithmes heuristiques qui recherchent des activités similaires à celles des virus. Ces algorithmes peuvent détecter le fonctionnement du système de protection spécial d'AxisVM et envoyer une fausse alarme. Si cela se produit, vous pouvez procéder comme suit

- *Si le produit antivirus a mis AxisVM.exe en quarantaine, rétablissez-le*
- *Ajouter AxisVM.exe aux exceptions (fichiers non vérifiés par le logiciel antivirus)*
- *Réduire la sensibilité de la vérification heuristique sur le panneau de contrôle du produit antivirus*

Le site web de VirusTotal propose un contrôle antivirus de 47 produits différents.

Démarrage d'AxisVM

Cliquez sur le bouton Démarrer, sélectionnez Programmes, dossier AxisVM, et cliquez sur l'icône AxisVM X6.
Au démarrage, un écran de démarrage s'affiche (voir... *3.7.5. Info)* puis un écran de bienvenue où vous pouvez sélectionner un projet précédent ou en démarrer un nouveau.
En décochant la case du bas, vous désactivez l'écran de bienvenue pour l'avenir. Pour l'activer, choisissez la boîte de dialogue *Paramètres\Préférences\Sécurité des données* et cochez la case *Montrer écran de bienvenue lors du démarrage*. Lors de la mise en place d'un nouveau projet, la boîte de dialogue suivante s'affiche.



Faire fonctionner AxisVM en mode sécurisé

AxisVM.exe (version 32 bits) et AxisVM_x64.exe (version 64 bits) peuvent tous deux être lancés en mode sécurisé en entrant `axisvm.exe /SAFE` ou `axisvm_x64.exe /SAFE` dans la ligne de commande.
Il est recommandé de démarrer AxisVM en mode sécurisé dans les cas suivants : (1) problèmes de carte graphique ou de pilote, (2) si des problèmes sont détectés en mode multithread (3) si AxisVM se bloque en essayant de récupérer le dernier fichier endommagé lors d'un plantage (4) si un module d'extension ou de complément provoque des erreurs.

Lancement d'AxisVM en mode débogage

Si un problème est rencontré au démarrage ou si AxisVM ne peut pas être lancé, exécutez AxisVM.exe (version 32 bits) ou AxisVM_x64.exe (version 64 bits) avec les commutateurs /USERDEBUG et /NETDONGLELOG. Dans le cas d'une licence réseau, lancez d'abord AxisVM avec /USERDEBUG puis avec /NETDONGLELOG. Dans le cas d'une licence locale unique, il suffit d'utiliser le commutateur /USERDEBUG.

Ces commutateurs activent la journalisation du processus de démarrage, en créant un fichier de log. Envoyez le fichier journal à votre distributeur pour savoir comment résoudre le problème.

Types de programmes et de dossiers

	Type de fichier	*Extension de fichier*	*Peut être ouvert par*				
			Standard	*Visionneuse*	*Universitaire*	*Procès*	*Lumière*
réalisé par	Standard	.axs/.axe	oui	oui	oui	oui	DEN
	Visionneuse	.axv/.axw	non	oui	non	non	non
	Universitaire	.axs/.axe	WM	oui	oui	WM	DEN
	Procès	.axs/.axe	oui	oui	oui	oui	DEN
	Lumière	.axd/.axr	oui	oui	oui	oui	oui

WM le filigrane apparaît sur la sortie imprimée
DEN dépend du nombre d'éléments dans le projet (limite de la version allégée)

Mise à jour

Il est recommandé d'installer la nouvelle version dans un nouveau dossier. De cette façon, la version précédente restera disponible.

Conversion des anciens projets

Les projets créés dans une version précédente sont reconnus et convertis automatiquement. L'enregistrement des fichiers utilisera par défaut le format le plus récent. Il est possible d'enregistrer des fichiers dans le format de l'une des versions précédentes, mais les informations spécifiques aux nouvelles versions seront ainsi perdues.

Etapes d'une analyse

Les principales étapes d'une analyse utilisant AxisVM sont les suivantes :

Création du projet (prétraitement)			
↓			
Analyse			
Statique (linéaire/non linéaire)	Vibration (premier/second ordre)	Dynamique (linéaire/non linéaire)	Flambement
↓			
Évaluation des résultats (post-traitement)			

Capacité

En pratique, la taille du projet est limitée par l'espace libre de votre disque dur.

Les restrictions sur la taille du projet et sur les paramètres d'une analyse sont les suivantes :

Professionnel

Entité		Maximum
Nœuds		Illimité
Matériau		Illimité
Éléments	Fermes	Illimité
	Poutre	Illimité
	nervure	Illimité
	Membrane	Illimité
	Plaque	Illimité
	Coque	Illimité
	Appui	Illimité
	Élément de contact	Illimité
	Diaphragme	Illimité
	Ressort	Illimité
	Rigide	Illimité
	Lien	Illimité
Charger des cas		Illimité
Combinaisons de charges		Illimité
Fréquences		Illimité

Petites entreprises (Standard)

Entité		Maximum
Nœuds		Illimité
Matériau		Illimité
Éléments	Seulement les fermes	500
	fermes + poutre +nervure *	250
	Nervure sur le bord d'une surface	1500
	Toute combinaison de membrane, plaque ou coque	2000
	Appui	Illimité
	Élément de contact	Illimité
	Diaphragme	Illimité
	Ressort	Illimité
	Rigide	Illimité
	Lien	Illimité
Cas de Charge		Illimité
Combinaisons de charges		Illimité

***** S'il y a des poutres et/ou des nervures dans la structure

2.3. Pour commencer

La meilleure façon de découvrir AxisVM est de construire un projet simple, de l'analyser et d'évaluer les résultats.
Les étapes de la construction d'un projet sont décrites dans le tutoriel AxisVM pas à pas

Un processus de modélisation comporte trois grandes étapes :

Géométrie

La première étape consiste à créer le projet géométrique de la structure (en 2D ou 3D).
La géométrie peut être dessinée à la main ou peut être importée à partir d'autres programmes de CAO.
Il est également possible de dessiner directement des éléments (poteaux, poutres, murs, dalles).

Éléments

Si vous avez choisi de dessiner d'abord la géométrie, vous devez spécifier les propriétés des matériaux et des éléments, mailler la géométrie en éléments (en assignant les propriétés et un maillage, au projet de fil de fer), et définir les conditions d'appui.

Chargements

Dans la troisième étape, vous devez appliquer différentes charges sur le projet.

Le résultat final sera un projet à éléments finis de la structure.
Une fois le projet créé, il est prêt à être analysé.

Vous pouvez trouver les étapes de la construction d'un projet en détail dans le tutoriel *AxisVM Step by step* disponible dans le menu *Aide*. Ce tutoriel aide à construire et à analyser des structures simples.

- Projet de poutre
- Projet d'ossature
- Projet de plaque
- Projet de membrane (avec maillage paramétrique)
- Projet de membrane (avec domaines)
- Projet de coquille

AxisVM Step by step (pour les utilisateurs avancés) guide l'utilisateur à travers l'analyse dynamique et sismique de deux projets avancés.
Des tutoriels vidéo en anglais pour les projets d'exemple sont disponibles ici:
Chaîne YouTube AxisVM

Il est recommandé de lire le manuel de l'utilisateur en entier au moins une fois en explorant AxisVM.
Dans le **chapitre** *1* vous trouverez les nouvelles fonctionnalités de la version.
Le chapitre *2* contient des informations générales sur l'exploitation d'AxisVM. Dans d'autres chapitres, l'explication suit les structures de menu avant et après le processeur. Veuillez consulter ce *manuel de l'utilisateur* chaque fois que vous utilisez AxisVM.

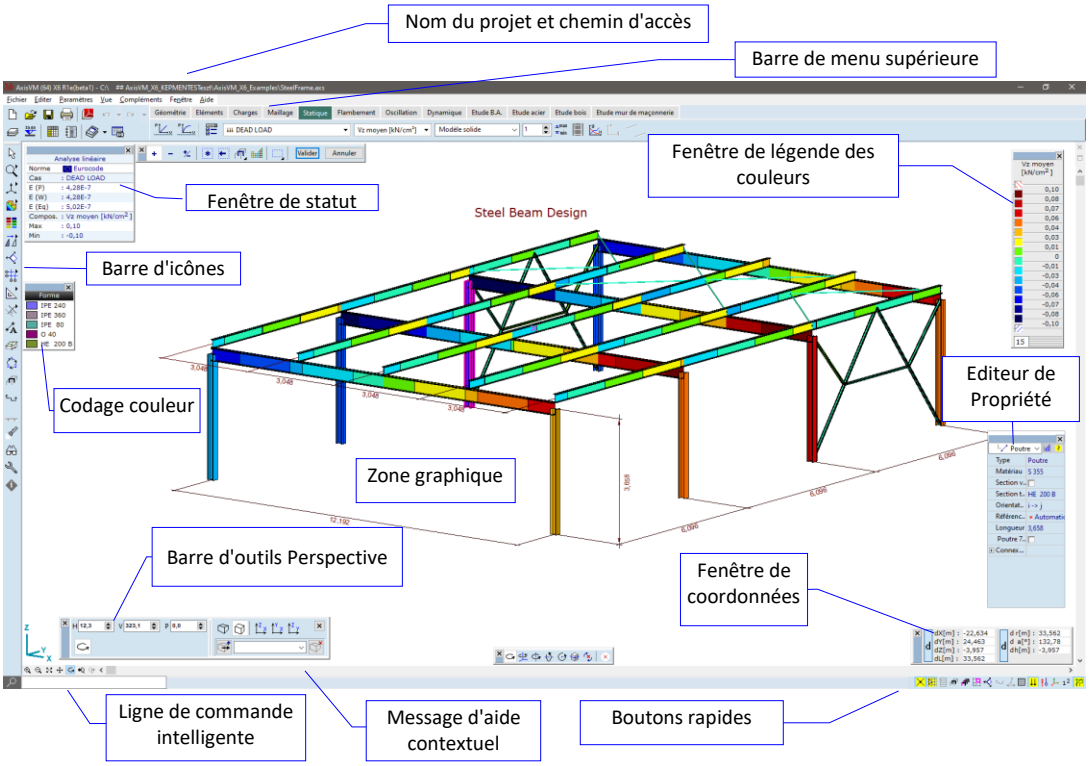
2.4. Interface utilisateur AxisVM

Nouvelle vue

Cette section transversale décrit l'environnement de travail de l'interface utilisateur graphique complète d'AxisVM. Veuillez lire attentivement ces instructions. Votre connaissance du programme augmente la vitesse de modélisation et la productivité.

Écran AxisVM

Eléments de l'interface utilisateur



Les parties de l'écran AxisVM sont brièvement décrites ci-dessous.

Zone graphique

La zone de l'écran où vous créez votre projet.

Curseur graphique

Le curseur de l'écran est utilisé pour dessiner, sélectionner des entités et choisir dans les menus et les boîtes de dialogue. Selon l'état actuel d'AxisVM, sa forme peut changer.

Barre de menu supérieure

Chaque élément de la barre de menu supérieure possède sa propre liste de menus déroulants. Pour utiliser la barre de menu supérieure, déplacez le curseur vers le haut de la barre de menu. Le curseur se transforme en pointeur. Pour sélectionner un élément de la barre de menu, déplacez le pointeur sur celui-ci, et appuyez sur le bouton de sélection pour sélectionner. Le menu déroulant qui lui est associé apparaît.

Onglets avec barres d'outils associées

Les outils de construction de modèles, d'analyse et d'évaluation des résultats sont regroupés sur des onglets suivant l'ordre logique de ces opérations.

Icône active

L'icône active représente la commande qui est actuellement sélectionnée.

Barre d'icônes

Les icônes sur la gauche représentent des outils de travail sous forme d'images. Ces outils sont accessibles à toutes les étapes du travail. La barre d'icônes et les barres d'outils mobiles peuvent être glissées et ancrées.

Fenêtre de coordonnées

La fenêtre de la zone graphique affichant les coordonnées du curseur graphique.

Fenêtre de légende des couleurs

La fenêtre affiche la légende des couleurs utilisées dans l'affichage des résultats. N'apparaît que lors de la session de post-traitement.

Fenêtre d'information

La fenêtre indique l'état du projet et l'affichage des résultats.

Aide contextuelle

Fournit un message d'aide qui dépend du sujet en cours de traitement.

Editeur de propriété

L'éditeur de propriétés offre un moyen simple de modifier certaines propriétés des éléments ou des chargements sélectionnés.

Palette de dialogue rapide

Ces des barre d'outils flottantes qui apparaissent lors de la modification de la géométrie en fonction du type de l'entité traînée (nœud, ligne droite, arc). Elles sont différentes et ne sont pas en permanence à l'écran voir... *4.8.21. Modifier, transformer*

Boutons rapides

Les boutons rapides en bas à droite permettent d'accéder plus rapidement à certaines cases à cochers (pièces, sections transversales, symboles, numérotation, plans de travail, etc.)

Le projet

Avec AxisVM, vous pouvez créer et analyser des projets d'éléments finis de structures de génie civil. Ainsi, le programme fonctionne sur un projet qui est une approximation de la structure réelle.
À chaque projet, vous devez attribuer un nom. Ce nom sera utilisé comme nom de fichier lors de l'enregistrement. Vous ne pouvez attribuer que des noms qui sont des noms de fichier Windows valides.
Le projet est constitué de toutes les données que vous spécifiez à l'aide d'AxisVM. Les données du projet sont stockées dans deux fichiers: les données d'entrée dans le **nom de fichier**. **axs** et les résultats dans le **nom de fichier**. **axe** file.
AxisVM vérifie si les fichiers AXS et AXE appartiennent à la même version du projet.

2.5. Utilisation du curseur, du clavier, de la souris

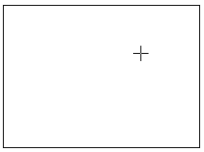
Unicode est une norme de l'industrie informatique pour le codage, la représentation et le traitement cohérents des textes exprimés dans la plupart des systèmes d'écriture du monde. AxisVM X6 offre un appui Unicode complet.
Toutes les fenêtres apparaissent en fonction du thème Windows actuel.

Curseur graphique

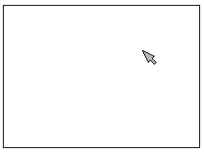


Lorsque vous déplacez votre souris, le symbole du curseur graphique suit le mouvement à l'écran. Pour sélectionner une entité, une icône ou un élément de menu, déplacez le curseur sur celle-ci et cliquez sur le bouton gauche de la souris. La forme du curseur change en conséquence (voir... *4.7.1. Identification du curseur*), et apparaît à l'écran sous l'une des formes suivantes

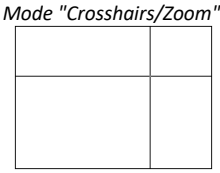
Le réticule:



Pointeur:



Mode "Crosshairs/Zoom":



Si vous sélectionnez une entité lorsque le curseur est dans son mode par défaut (mode info), les propriétés de cette entité seront affichées sous forme d'info-bulle.

Info-bulle

Selon le menu sur lequel votre curseur se trouve, vous pouvez obtenir les propriétés des entités suivantes:

Géométrie	Coordonnées du nœud (point), longueur de la ligne
Éléments	Élément fini, référence, degré de liberté, appui, longueur, masse, matériau, section transversale
Chargements	Charge d'éléments, masse nodale
Maillage	Paramètres de maillage
Statique	Déplacement, force interne, contrainte, armatures ligne d'influence cordonnée
Vibration	Mode forme cordonnée
Dynamique	Déplacement, vitesse, accélération, force interne, contrainte
Etude B.A.	Valeurs d'armatures spécifiques
Etude Acier	Déplacement, force interne, résultats d'exploitation et résistances
Etude Bois	Déplacement, force interne, résultats du facteur d'exploitation et résistances

Le clavier

Vous pouvez également utiliser le clavier pour déplacer le curseur :

Touches fléchées,

Déplace le curseur graphique dans le plan courant.

[Ctrl] + Touches fléchées,

Déplace le curseur graphique dans le plan courant avec une taille de pas agrandie/réduite par un facteur défini dans la boîte de dialogue Paramètres.

[Maj]+ [↑][↓][←][→],

Déplace le curseur graphique dans le plan courant sur une ligne d'angle n- , personnalisé ou n-90°.

[Accueil] [Fin]	Déplace le curseur graphique perpendiculairement au plan courant.
[Ctrl]+ [Accueil], [Fin]	Déplace le curseur graphique perpendiculairement au plan courant avec une taille de pas agrandie/réduite par un facteur défini dans la boîte de dialogue Paramètres.
[Echap] ou bouton droit	Interrompt la commande et/ou revient à un niveau de menu supérieur.
[Entrée]+[Espace] bouton gauche	Sélectionne un élément dans un menu, exécute une commande et sélectionne des entités. On les appelle des boutons de commande.
[Alt]	Active le menu principal
[Tabulation]	Fait passer l'attention du contrôle au contrôle dans un dialogue.
[+] [-]	Effectue rapidement un zoom avant/arrière et un panoramique. Les paramètres de zoom et de panoramique sont définis par la position actuelle du curseur graphique dans la zone graphique, et par le facteur d'agrandissement défini dans Paramètres */ Options / Facteur de zoom*. Le centre du zoom avant/arrière rapide est toujours la position actuelle du curseur graphique.
[Insérer *ou* **[Alt]+[Maj].**	Déplace l'origine relative (c'est-à-dire le point de référence des coordonnées relatives) à la position actuelle du curseur graphique.
roue	Avancez pour zoomer Faites un zoom arrière Appuyez sur la roue et faites glisser la zone de dessin Le centre du zoom avant et du zoom arrière correspond à la position actuelle du curseur.
Raccourcis clavier	Combinaisons de touches du clavier pour accéder plus rapidement aux fonctions fréquemment utilisées. Voir... *2.6. Raccourcis clavier*
bouton droit	Affiche le menu rapide. Voir... *2.7. Menu rapide*

2.6. Raccourcis clavier

Des raccourcis clavier peuvent être attribués aux opérations courantes, aux boutons de la barre d'outils, aux éléments de menu. Les paramètres par défaut de AxisVM sont les suivants. Les principaux raccourcis des boutons de la barre d'outils sont sensibles au contexte, c'est-à-dire qu'un même raccourci peut effectuer différentes tâches sur différents onglets (*Géométrie, Éléments, Charges,* etc.).

Commandes générales

Ouvrir	Ctrl+O
Enregistrer	Ctrl+S
Imprimer	Ctrl+P
Défaire	Alt+BkSp
Refaire	[Maj]+Alt+ BkSp
Gestion des calques	F11
Étages	F7
Navigateur de tableau	F12
Étude de rapport	F10
Bibliothèque de dessins	F6
Sauvegarder dans Bibliothèque de dessins	F9
Supprimer	Suppr
Etablir une origine relative	Ins
Cas de charge précédent	Ctrl+PgUp
Cas de charge suivant	Ctrl+PgDn

Barre d'icônes

Sélection	S
Codage couleur	[Maj]+C
Translater / Copier	[Maj]+T
Rotation	[Maj]+R
Miroir	[Maj]+M
Echelle	[Maj]+S
Lignes de cotation	Ctrl+Alt+D
Editer les calques de fond	Ctrl+Alt+E
Partie	[Maj]+P
Lignes de section transversale	[Maj]+Ctrl+X
Trouver	F3
Options d'affichage	Ctrl+Y
Informations sur le projet	[Maj]+I

Voir

Zoom avant .....Ctrl+ü
Zoom arrière .....[Maj]+Ctrl+ü
Ajuster dans la fenêtre .....Ctrl+W
Panoramique .....Ctrl+M
Faire pivoter .....Ctrl+R
Vue de face .....Ctrl+1
Vue de côté .....Ctrl+3
Vue de dessus .....Ctrl+2
Perspective .....Ctrl+4
Fil de fer .....Alt+F5
Suppression des lignes cachées .....Alt+F6
Rendu .....Alt+F7
Texture .....Alt+F8

Lignes guides

Trame structurelle .....[Maj]+G
Perpendiculaire .....Alt+V
Parallèle .....Alt+P
Bissectrice .....Alt+B
Point de division .....Alt+M
Point d'intersection de deux lignes .....Alt+I

Barre d'outils

[Géométrie] .....[Maj]+F1
[Éléments] .....[Maj]+F2
[Charges] .....[Maj]+F3
[Maillage] .....[Maj]+F4
[Statique] .....[Maj]+ F5
[Flambement] .....[Maj]+F6
[Vibration] .....[Maj]+F7
[Dynamique] .....[Maj]+F8
[Étude B.A.] .....[Maj]+F9
[Étude acier] .....[Maj]+F10
[Étude bois] .....[Maj]+F11

Géométrie

Nœud .....N
Ligne L
Polygone .....P
Rectangle .....R
Arc .....A
Arc basé sur trois points .....B
Division horizontale .....H
Diviser des lignes .....D
Intersection I

Éléments

Matériaux .....[Maj]+Ctrl+M
Section transversale .....[Maj]+Ctrl+C
Dessiner directement des objets.....F4
Dessiner directement des appuis F5
Domaine .....D
Trou.....H
Éléments linéaires.....L
Appui nodal .....T
Appui linéaire .....U
Élément d'interface nœud à nœud.....I
Élément d'interface ligne à ligne .....J

Charges

Cas de charge et groupes de charge L
Combinaisons de charges.....C
Charges nodales .....N
Charges ponctuelles sur les poutres .....B
Charge sur les points de domaines.....A
Charge le long des éléments linéaires.....J
Charges des bordures surfaciques .....E
Charge Linéaires de domaine I
Charge répartie sur surface.....H
Charge répartie sur le domaine .....D
Charge surfacique dérivée sur les fermes/poutres/nervures ...K
Plan de chargement.....P
Charge de neige .....O
Charge de vent .....W
Charge hydraulique.....F
Poids propre .....G
Définition de la charge linéaire mobile.....T

Maille

Maillage de domaine .....G

Statique

Analyse statique linéaire L
Analyse statique non linéaire .....N
Paramètres d'affichage des résultats .....D

Valeurs Min, Max .....Ctrl+X
Animation .....A

Flambement

Analyse de flambement L
Paramètres d'affichage des résultats .....D
Valeurs Min, Max .....Ctrl+X
Animation .....A

Vibration

Analyse des vibrations L
Paramètres d'affichage des résultats.....D
Valeurs Min, Max .....Ctrl+X
Animation .....A

Dynamique

Analyse dynamique L
Paramètres d'affichage des résultats.....D
Valeurs Min, Max.....Ctrl+X
Animation .....A

Etude B.A.

Paramètres des armatures .....P
Armatures actuelles .....T
Paramètres d'affichage des résultats.....D
Valeurs Min, Max.....Ctrl+X
Animation .....A
Armatures de poteau C
Etude d'armatures de poutres .....B
Analyse du poinçonnement des plaques.....U
Etude des semelles de fondation.....F
Etude des semelles filantes I

Etude Acier

Paramètres d'études.....P
Paramètres d'affichage des résultats.....D
Valeurs Min, Max.....Ctrl+X
Etude des jointures .....J
Etude des jointures .....K
Optimisation de la section transversale acier .....O

Étude bois

Paramètres d'études.....P
Paramètres d'affichage des résultats.....D
Valeurs Min, Max.....Ctrl+X
Animation .....A

Menu

Dossier

Ouvrir .....Ctrl+O
Enregistrer .....Ctrl+S
Imprimer .....Ctrl+P
Sortie .....Ctrl+Q

Edition

Défaire.....Alt+BkSp
Refaire..... [Maj]+Alt+ BkSp
Sélectionner tout .....Num *
Copier .....Ctrl+C
Coller .....Ctrl+V
Supprimer .....Suppr
Navigateur de tableau F12
Étude de rapport F10
Bibliothèque de dessins F6
Sauvegarder dans la Bibliothèque de dessins F9
Rapport de poids F8
Piano Sisma (logiciel italien).....Ctrl+Alt+P
Assembler des éléments structuraux .....[Maj] + A
Démanteler des éléments structuraux .....[Maj]+B
Inverser le système de coordonnées locales .....Ctrl+E

Paramètres

Symboles .....Ctrl+Y
Case à cochers .....Ctrl+D
Gestion des calques F11
Étages F7
Configuration des lignes guides .....Ctrl+G
Trame structurelle .....[Maj]+G
Raccourcis clavier .....Ctrl+K

Préférences

Polices .....[Maj]+Alt+F
Analyse .....[Maj]+Alt+B

Vue

Vue de face .....Ctrl+1
Vue de dessus .....Ctrl+2
Vue de côté .....Ctrl+3

Perspective .....Ctrl+4
Monter d’un étage .....PgUp
Descendre d’un étage .....PgDn
Zoom avant.....Ctrl+ü
Zoom arrière .....[Maj]+Ctrl+ü
Ajuster dans la fenêtre .....Ctrl+W
Panoramique.....Ctrl+M
Faire pivoter .....Ctrl+R
Fil de fer .....Alt+F5
Suppression de la ligne cachée .....Alt+F6
Rendu .....Alt+F7
Texture .....Alt+F8

Fenêtre

Éditeur de propriétés .....[Maj]+Alt+P
Statut .....[Maj]+Alt+I
Codage couleur .....[Maj]+Alt+C
Coordonnées .....[Maj]+Alt+K
Légende des couleurs .....[Maj]+Alt+L
Charger l'image de fond .....Ctrl+B
Diviser horizontalement .....[Maj]+H
Diviser verticalement .....[Maj]+V
Fermer la fenêtre .....Ctrl+F4
Diminuer la taille de la police de l'annotation .....Ctrl+Alt+I
Augmenter la taille de la police de l'annotation .....Ctrl+Alt+O
Bibliothèque de dessins F6
Sauvegarder dans la Bibliothèque de dessins.....F9

Aide

Contenu F1

Boutons rapides

Auto intersection .....Ctrl+I
Affichage des mailles oui/non .....M
Afficher uniquement les éléments sélectionnés .....Ctrl+F
Charger l'affichage oui/non .....Ctrl+L

Options d'affichage des résultats

Aucune .....Ctrl+F5
Diagramme .....Ctrl+F6
Isolignes .....Ctrl+F7
Isosurfaces 2D .....Ctrl+F8
Ligne de section transversale .....Ctrl+F9
Isosurfaces 3D .....Ctrl+F10
Diagramme + valeurs moyennes .....Ctrl+F11
Liste des éléments de résultat .....Q

Coordonnées

X X
O .....O
Z .....Z
L .....[Maj]+Ctrl+L
R .....[Maj]+Ctrl+R
A .....[Maj]+Ctrl+A
H .....[Maj]+Ctrl+H
B .....[Maj]+Ctrl+B
Plan de travail temporaire .....[Maj]+Ctrl+W
Verrouillage X[m]: .....Ctrl+Alt+X
Verrouillage Y[m]: .....Ctrl+Alt+Y
Verrouillage Z[m]: .....Ctrl+Alt+Z
Verrouillage L[m]: .....Ctrl+Alt+L
Verrouillage r[m]: .....Ctrl+Alt+R
Verrouillage a[°]: .....Ctrl+Alt+A
Verrouillage h[m]: .....Ctrl+Alt+H
Verrouillage b[°]: .....Ctrl+Alt+B
Coordonnées relatives / globales .....[Maj]+D
Coordonnées polaires relatives / globales .....[Maj]+E

Raccourcis dans les tableaux

Ctrl+L	Parcourir les bibliothèques
Alt+F4	Sortie
Ctrl+Insert	Nouvelle ligne
Ctrl+Suppr	Supprimer une ligne
Ctrl+A	Sélectionner tout
F5	Sauter à la ligne
Ctrl+D	Format par défaut
Ctrl+Alt+F	Définir le format des poteaux
Ctrl+R	Définir le mode d'affichage des résultats (pour les tableaux de résultats)
Ctrl+G	Editer une nouvelle section transversale (pour les tableaux de sections transversales)
Ctrl+M	Modifier une section transversale (pour les tableaux de sections transversales)
F1	Aide contextuelle
F9	Ajouter un tableau au rapport
F10	Rédaction du rapport

Raccourcis dans la Redaction du rapport

Ctrl+T	Insérer du texte
Ctrl+Alt+B	Insérer un saut de page
Ctrl+W	Exportation vers un fichier RTF
F3	Aperçu du rapport
Ctrl+P	Imprimer
Ctrl+Suppr	Supprimer

Les commandes de la molette de la souris

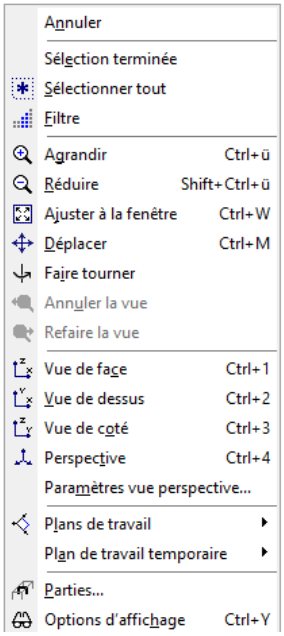
Faire défiler vers le haut	Zoom avant
Défilement vers le bas	Zoom arrière
Rouler vers le bas + bouger	Panoramique (lent)
Roue en bas + ALT + déplacement	Faire tourner
Roue en bas + CTRL + déplacer	Panoramique (rapide)

2.7. Menu rapide

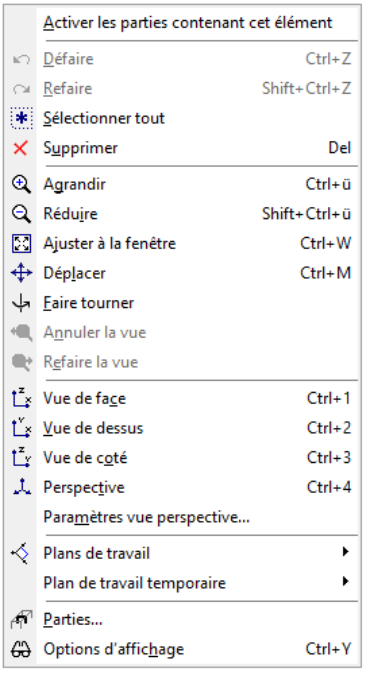
bouton droit

Lorsque le curseur se trouve sur la zone graphique, en appuyant sur le bouton droit de la souris, un **menu rapide** apparaît en accord avec la commande en cours d'exploitation.

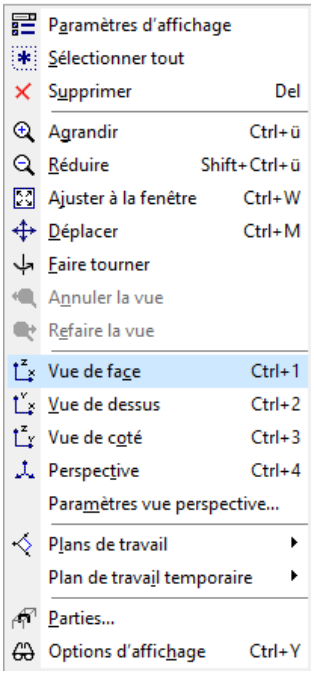
Sélection



Géométrie / Éléments / Charges



Résultats



2.8. Boîtes de dialogue

Après avoir sélectionné une fonction, une boîte de dialogue apparaît généralement à l'écran. Ces boîtes de dialogue peuvent être utilisées de la même manière que n'importe quelle autre boîte de dialogue de Windows.
La police de dialogue peut être modifiée en sélectionnant la boîte de dialogue *Paramètres / Préférences / Polices* et en cliquant sur l'annotation de l'échantillon de police *Boîtes de dialogue*.
Vous pouvez modifier la position de toutes les fenêtres de dialogue. Le programme enregistre la dernière position et affiche le dialogue sur la même position la prochaine fois.

2.9. Navigateur de tableau



[F12]

AxisVM utilise des tableaux pour afficher des informations numériques à l'écran, ce qui permet de modifier le formatage. Les tableaux fonctionnent de la même manière, indépendamment du contenu affiché. Tous les tableaux créés par AxisVM sont disponibles dans la boîte de dialogue du navigateur de tableaux en cliquant sur son bouton ou en appuyant sur **[F12].**
Les données projets à afficher dans le navigateur de tableaux peuvent être sélectionnées dans l'arborescence du côté gauche du navigateur. Si vous utilisez navigateur de tableau lorsque vous travaillez dans le préprocesseur, les données du projet d'entrée sont uniquement affichées. Si vous travaillez dans le post-processeur, les résultats du projet sont également affichés.

☞ **Seules les données de la sélection en cours (le cas échéant) ou de la partie active (c'est-à-dire affichée) sont listées par défaut.**

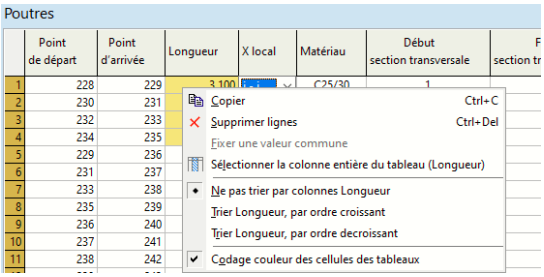
La vue arborescente de gauche énumère les données d'éléments/charges, les tableaux de résultats et les bibliothèques dans une hiérarchie et peut également être utilisée comme projet d'aperçu.

Tri par colonne

Les tableaux de saisie et de résultats peuvent être triés par la plupart des colonnes. Le survol de l'en-tête d'une colonne possible d'être triée fait changer la couleur de la cellule d'en-tête. Cliquer sur l'en-tête fait passer la cellule en bleu clair et l'ordre de tri change (ascendant, descendant, pas de tri). Les lignes du tableau seront triées en conséquence.

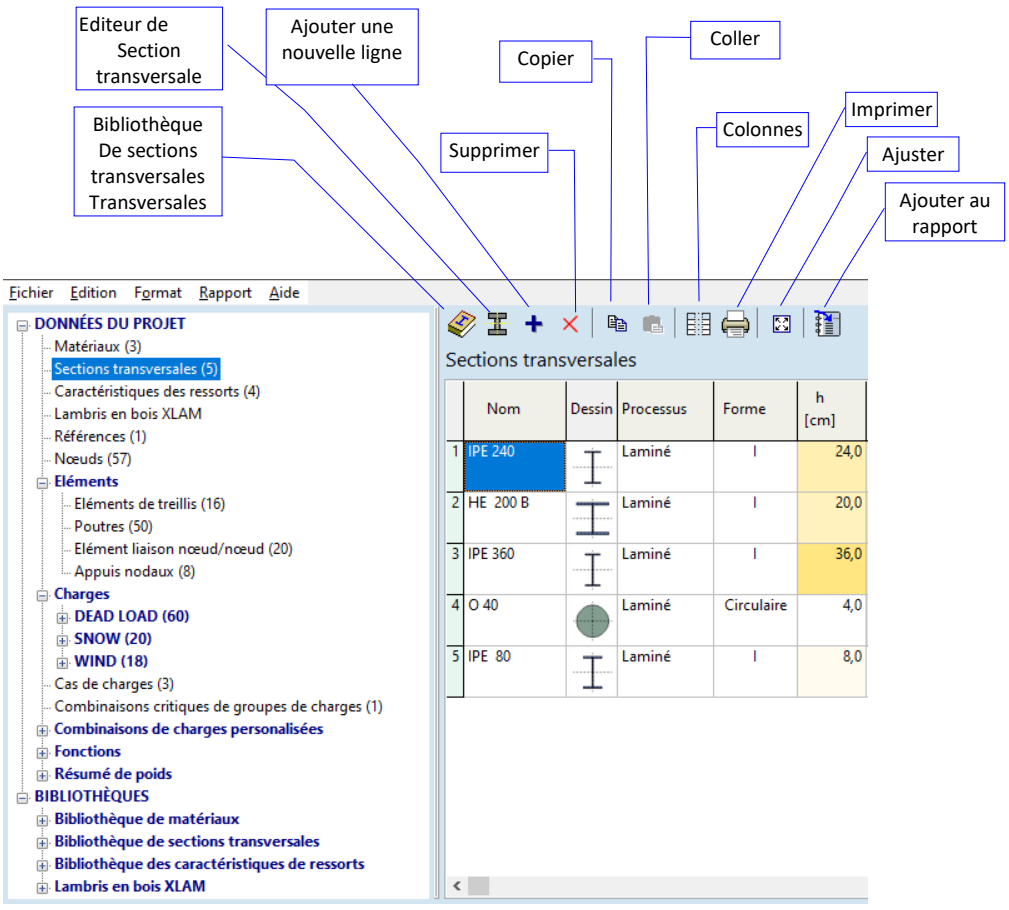
La plupart des tableaux de saisie de données peuvent être triés selon plusieurs critères. Trier le tableau des nœuds par Z puis par X signifie que les nœuds ayant une coordonnée Z égale seront triés par leur coordonnée X.
L'ordre des critères dépend de l'ordre des clics. Les tableaux de résultats permettent le tri par une seule colonne de composantes de résultats. Mais il peut y avoir certaines colonnes qui peuvent être utilisées comme premier critère (comme la section transversale dans les tableaux de force des *poutres, c'est-à-dire que* vous pouvez trier les résultats d'abord par section transversale puis par une composante de force).

Lorsque plusieurs critères sont appliqués, l'ordre des critères peut être vérifié en cliquant avec le bouton droit de la souris sur la cellule d'en-tête et en cochant le dernier élément du menu contextuel *(Ne pas trier par colonnes ____)*:



Codage couleur de cellules du tableau

Les tableaux du *navigateur de tableaux* appliquent un codage couleur aux valeurs affichées (par exemple, l'épaisseur du domaine, la section transversale de la poutre, la longueur de la poutre, les composantes du résultat, etc.) Les couleurs de fond des cellules n'apparaissent que sur l'écran. Cela aide à trouver les valeurs communes, les plus petites ou les plus grandes.
Les tableaux de résultats montrent les valeurs négatives dans les tons de bleu, les valeurs positives dans les tons de rouge. Les rendements sont affichés en vert en dessous de la limite et en rouge au-dessus.
Le codage des couleurs peut être désactivé, voir *Format / Codage des couleurs des cellules des tableaux*



Exploitation du tableau

Un tableau peut contenir plus linéaires et/ou linéaires qu'il n'est possible d'en afficher en même temps. Il peut être visualisé dans son intégralité à l'aide des barres de défilement et/ou du clavier comme suit:

Touches fléchées
bouton gauche

Déplace le focus d'édition vers le haut et le bas, à gauche et à droite, et fait défiler le tableau le long des lignes ou des colonnes. Cliquer sur une cellule modifiable déplace le focus d'édition vers cette cellule.

[Accueil] Déplace le focus sur la première cellule de la ligne.

[Fin] Déplace le focus sur la dernière cellule de la ligne.

[Ctrl]+ [Accueil] Déplace le focus sur la première cellule de la première ligne

[Ctrl]+ [Fin] Déplace le focus sur la dernière cellule de la dernière ligne.

[Haut de page] Affiche la page précédente des lignes.

[Page vers le bas] Affiche la page suivante des lignes.

[Ctrl]+ [→] Déplace le focus sur la page suivante (à droite) des colonnes (uniquement dans les tableaux où plusieurs colonnes peuvent être affichées en même temps).

[Ctrl]+ [←] Déplace le focus sur la page précédente (à gauche) des colonnes (uniquement dans les tableaux où plusieurs colonnes peuvent être affichées en même temps).

[Entrer] Met fin à l'édition en cours dans la boîte d'édition qui stocke les données saisies et déplace la boîte d'édition d'une colonne vers la droite ou vers la première colonne de la ligne suivante.

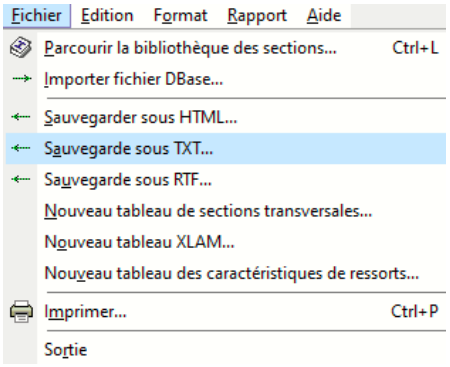
[Echap]
bouton droit

Abandonne l'édition en cours dans la boîte d'édition.

[Maj] Lorsque la touche **[Maj]** est enfoncée, toutes les touches de direction permettent de sélectionner des cellules au lieu de déplacer le point de montage. Vous pouvez également sélectionner des cellules en faisant glisser la souris. Cliquer sur une cellule fixe (la plus haute) d'une colonne sélectionne la colonne. Cliquer sur une cellule fixe (la plus à gauche) d'une ligne sélectionne la ligne. Cliquer sur la cellule supérieure gauche sélectionne l'ensemble du tableau. Les cellules sélectionnées peuvent être copiées dans le presse-papiers sous forme de tableau. Si la sélection se trouve dans une colonne modifiable, vous pouvez définir une valeur commune pour les cellules sélectionnées.

Définir une valeur commune pour les cellules sélectionnées dans une colonne.
Exemple: vous pouvez fixer la coordonnée Z de tous les nœuds à la même valeur, ce qui rend le projet absolument uniforme. Disponible dans le *menu du navigateur de tableaux / Édition / Fixer une valeur commune*.
Également disponible dans le menu contextuel.

Dossier



Naviguer à partir des bibliothèques



[Ctrl]+ [L]

Si le tableau des *matériaux, des sections transversales, des caractéristiques des ressorts* ou des *lambris de bois XLAM* est sélectionné, le premier élément de menu permet de parcourir la bibliothèque de matériaux intégrée, la bibliothèque de sections transversales, la bibliothèque de caractéristiques des ressorts ou la bibliothèque de panneaux de bois XLAM.

Importer fichier DBase



Importe un fichier DBase de *nom .dbf* dans le tableau actuel. Le programme vérifie les valeurs des champs et envoie un message d'erreur si une valeur incompatible est trouvée.

Sauvegarder sous DBase

Exporte le tableau actuel dans un fichier Dbase de *nom .dbf*. Les noms des champs sont générés sur la base des noms des poteaux. Les champs seront de type texte.

Sauvegarder Sous HTML

Exporte le tableau actuel dans un fichier HTML de *nom .htm*. Ce fichier peut être importé sous forme de tableau dans Word ou peut être ouvert dans des applications de navigateur web. Certaines informations de formatage des colonnes seront perdues.

Sauvegarder sous TXT

Exporte le tableau actuel dans un fichier TXT (ASCII) de *nom .txt*.

Sauvegarder sous RTF

Exporte le tableau actuel dans un fichier RTF de *nom .rtf en* utilisant le fichier projet actuel. Vous pouvez importer ce fichier dans Microsoft Word ou tout autre traitement de texte pouvant importer des fichiers RTF.
Voir... *2.10.2. Rapport*

Nouveau tableau de sections Transversales

Crée un nouveau fichier de données transversales *nommé .sec*. Le tableau créé sera placé avec les sections transversales du même type.
Vous pouvez enregistrer des sections transversales de tout type dans ces tableaux. Le type de tableau détermine uniquement la position de le tableau dans la bibliothèque des sections transversales.

Propriétés des tableaux de sections transversales

Vous pouvez modifier les propriétés (nom du tableau, type de section transversale) d'un tableau défini par l'utilisateur.

Supprimer le tableau de sections transversales

Vous pouvez supprimer un tableau défini par l'utilisateur.

Nouveau tableau XLAM

Crée un nouveau tableau des calques de panneaux de bois XLAM sous *BIBLIOTHÈQUES / Panneaux de bois XLAM*.

Renommer le tableau XLAM

Vous pouvez modifier le nom d'un tableau défini par l'utilisateur dans les *panneaux de bois XLAM*.

Supprimer le tableau XLAM

Vous pouvez supprimer un tableau défini par l'utilisateur dans les *panneaux de bois XLAM*.

Nouveau tableau de caractéristiques de ressort

Crée un nouveau tableau des caractéristiques des ressorts sous BIBLIOTHÈQUES / *Bibliothèque des caractéristiques des ressorts*.

Renommer le tableau des caractéristiques de ressort

Si un tableau personnalisé des caractéristiques du ressort est sélectionné dans la *bibliothèque des caractéristiques du ressort,* cet élément de menu apparaît et le nom du tableau peut être modifié.

Supprimer le tableau des caractéristiques de ressorts

Si un tableau personnalisé des caractéristiques du ressort est sélectionné dans la *bibliothèque des caractéristiques du ressort,* cet élément de menu apparaît et le tableau peut être supprimé.

Imprimer
[Ctrl + [P]

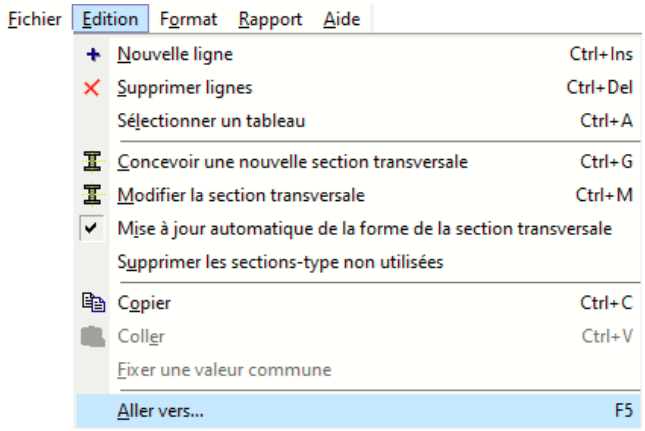
Imprime toutes les informations affichées dans le tableau sur l'imprimante sélectionnée ou dans un fichier, avec l'en-tête de page et la ligne de commentaire préalablement définis avec la commande du menu *Fichier/En-tête*.
En activant ***Description des colonnes du tableau,*** une explication des poteaux apparaît au bas du tableau.

Nom: Nom de la section transversale; **Processus:** Processus de fabrication; **h:** Hauteur de la section transversale; **b:** Largeur de la section transversle; **tw:** Epaisseur de l'âme; **tf:** Epaisseur des ailes; r_1, r_2, r_3: Rayon arrondi; **Ax:** Surface de la section transversale; **Ay, Az:** Surface de cisaillement; **Ix:** Inertie de torsion; **Iy, Iz:** Inertie de flexion; **Iyz:** Inertie centrifuge; I_1, I_2: Moment d'inertie principal; **α:** Directions principales; I_{ω}: Constante de déformation; $W_{1,el,r}$, $W_{1,el,b}$, $W_{2,el,r}$, $W_{2,el,b}$: Module elastique; $W_{1,pl}$, $W_{2,pl}$: Module plastique; i_y, i_z: Rayon d'inertie; **Hy:** Cotation dans la direction y local; **Hz:** Cotation dans la direction Z local; **yG:** Coordonnée Y du centre de gravité; **zG:** Coordonnée Z du centre de gravité;
y_s: Coordonnée Y du centre de cisaillement (torsion) par rapport au centre de gravité; z_s: Coordonnée Z du centre de cisaillement (torsion) par rapport au centre de gravité;
β_y, β_z, β_w: Wagner-paraméter; **P.c.:** Points de calcul de contrainte;

Sortie
[Alt]+ [F4]

Quitte le tableau de la même manière que le bouton *Annuler* (les modifications ne sont pas enregistrées).

Edit



Nouvelle ligne



[Ctrl]+ [Insérer]

Ajoute une nouvelle ligne à la liste, et permet de remplir toutes les cellules modifiables avec des données dans un ordre fixe de gauche à droite.

Supprimer des lignes

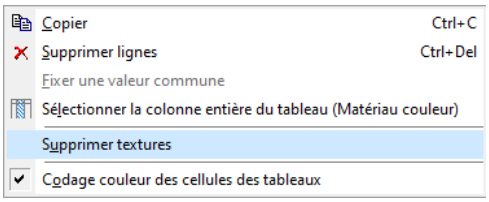


[Ctrl]+ [Suppr]

Supprime les lignes sélectionnées. Également disponible dans le menu contextuel.

Supprimer des textures

Disponible uniquement si les matériaux sont répertoriés. Supprime la texture des matériaux sélectionnés. Disponible dans le menu contextuel.



Sélectionner un tableau

[Ctrl]+ [A]

Sélectionne l'ensemble du tableau. Cliquer sur la cellule supérieure gauche fait la même chose.

Concevoir une nouvelle section transversale personnalisée



[Ctrl]+[G]

Lance l'éditeur de sections transversales graphiques, permettant la saisie d'une nouvelle section transversale personnalisée.

Modifier une section transversale personnalisée



[Ctrl]+[M]

Lance l'éditeur de section transversale graphique, permettant la modification d'une section transversale personnalisée créée précédemment avec l'éditeur de section transversale graphique.

Mise à jour automatique de la forme de la section transversale

Si cette fonction est sur la modification des paramètres de section transversale dans le tableau conduit à recalculer la géométrie et les paramètres de section transversale.

Supprimer les sections transversales non utilisées

Les sections transversales non utilisées seront supprimées du tableau.

Copie



[Ctrl]+ [C]

Copie les cellules sélectionnées dans le Presse-papiers sous forme de tableau. Également disponible dans le menu contextuel.

Coller



[Ctrl]+ [V]

Coller les cellules du tableau du Presse-papiers en écrasant les valeurs des cellules.
Si l'une des valeurs est inacceptable, le collage est annulé.
Si des lignes entières ont été coupées ou copiées et que le tableau permet d'insérer de nouvelles lignes, vous pouvez également ajouter des données du presse-papiers à la fin du tableau au lieu d'écraser les lignes existantes.

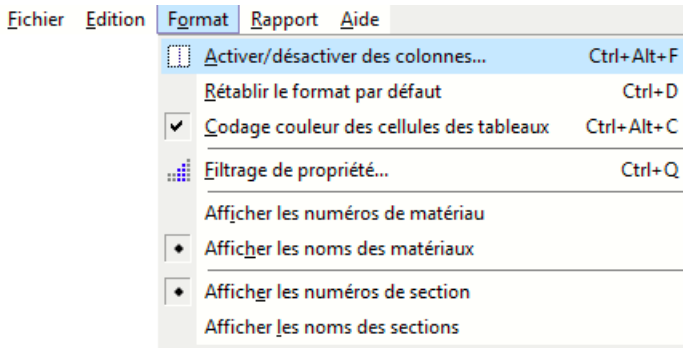
Fixer une valeur commune

Définit une valeur commune pour les cellules sélectionnées dans une colonne.
Exemple: vous pouvez fixer la coordonnée Z de tous les nœuds à la même valeur, ce qui rend le projet absolument uniforme. Disponible dans le *menu du navigateur de tableaux / Édition / Définir une valeur commune*.
Également disponible dans le menu contextuel.

Aller à
[F5]

Saute à une ligne spécifique dans le tableau.

Format
Tableaux de saisie des données



Activer/désactiver les colonnes



[Ctrl]+ [Alt]+ [F]

Vous pouvez spécifier si une colonne est visible ou non, en cochant les cases des colonnes correspondantes. Si certaines colonnes sont désactivées, des informations sur les colonnes cachées apparaissent sous le tableau. En cochant l'option *Sauvegarder par défaut*, le statut de la colonne devient la valeur par défaut pour ce type de tableau.

Le format d'affichage est défini en fonction des paramètres de la fenêtre de dialogue Unités/Paramètres (Voir... *3.3.8. Unités et formats).*

De nombreuses cellules nécessitent l'entrée d'une valeur numérique. Lors de la saisie de nombres réels, vous pouvez utiliser les caractères suivants :

+ - 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 E

et le séparateur décimal standard de Windows spécifié dans le champ *Démarrer / Paramètres / Panneau de configuration / Paramètres régionaux / Nombre / Symbole décimal.*
Dans certains cas, vous ne pouvez pas entrer un nombre négatif, de sorte que la touche - est désactivée lors de la saisie de ce type de valeurs. Si une valeur entière est requise, vous ne pouvez pas utiliser le séparateur décimal et E.

Rétablir le format par défaut
Ctrl+D

Restaure le format par défaut de l'ensemble du tableau (visibilité des colonnes et décimales).

Codage couleur des cellules des tableaux
Ctrl+Alt+C

Le codage couleur des fonds de cellule peut être activé ou désactivé ici.

Ordre de chargement des cas...

L'ordre d'affichage des cas de chargement peut être personnalisé.
Voir... *4.10.1. Cas de charge, groupes de charges*

Sections transversales Intermédiaires

Après la division ou le maillage de poutres ou de nervures à section transversale variable, AxisVM constitue des sections transversales intermédiaires. Ce point de menu permet d'activer/désactiver l'affichage des sections transversales intermédiaires à la fin de la liste.

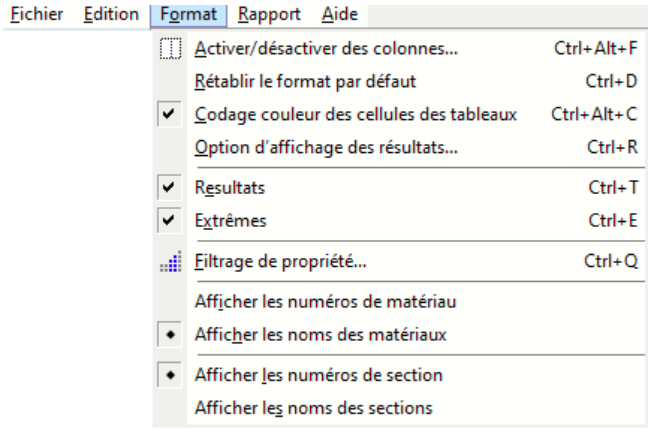
Afficher les sections transversales utilisées en gras

Après la commande *Supprimer les sections transversales inutilisées,* seules les sections transversales en gras restent dans la liste.

Les noms des sections transversales qui sont signés en caractères gras restent dans le tableau si la case à cocher "*Supprimer les sections transversales inutilisées*" est activé.

En cas d'interrogation des résultats, de nouveaux éléments apparaissent dans le menu *Format* et la barre d'outils.

Lors de l'interrogation des résultats



Options d'affichage des résultats
[Ctrl]+[R]

Vous pouvez contrôler la recherche des extrêmes pour les composantes de résultat et définir l'affichage des résultats (Résultat) et/ou seulement les extrêmes (Extrêmes).
Voir en détail... *6.1.5. Tableaux de résultats*

Résultats Oui/Non
[Ctrl]+[T]

L'affichage des résultats peut être activé / désactivé.

Extrêmes Oui/Non
[Ctrl]+[E]

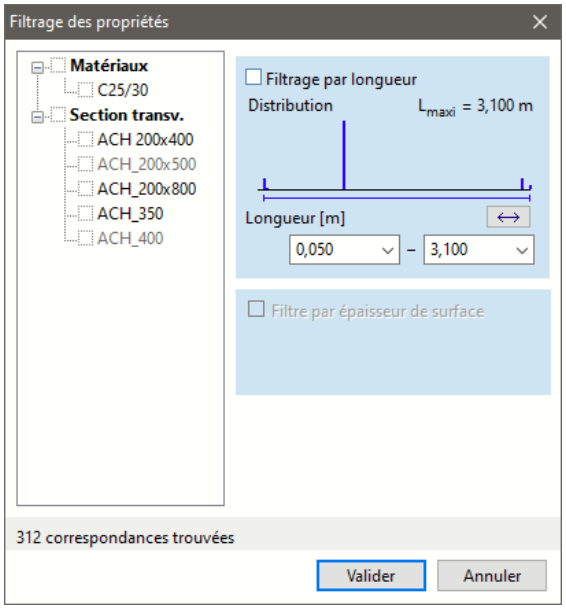
L'affichage des extrêmes peut être activé / désactivé.

Filtrage des propriétés

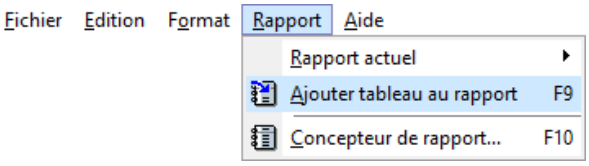


[Ctrl]+[Q]

Le filtrage des propriétés vous aide à sélectionner les éléments à inclure dans le tableau.



Rapport



Rapport actuel

Vous pouvez définir le rapport actuel. Des tableaux seront ajoutés à ce rapport. Voir... *2.10 Concepteur de rapport*

Ajouter un tableau au rapport



[F9]

Ajoute le tableau actuel au rapport actuel. Si le nœud sélectionné dans l'arborescence comporte des sous-nœuds (par exemple, PROJET ou Charges), tous les tableaux situés sous ce nœud seront ajoutés. Si le tableau en cours est un tableau de résultats et qu'il est paramétré pour n'afficher que les extrêmes, tous les sous-tableaux n'afficheront que les extrêmes. Voir... *2.10 Concepteur de rapport*

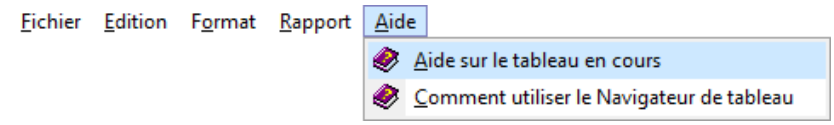
Rédacteur du rapport



[F10]

Ouvre création de rapport

Aide



Aide sur le tableau en cours



Affiche des informations sur le tableau.

Comment utiliser navigateur de tableau



Affiche des informations sur le fonctionnement du navigateur de tableaux.

Valider Sauvegarde les données et ferme le tableau.

Annuler Ferme le tableau sans sauvegarder les données.

☞ **Les tableaux de résultats affichent également les extrêmes (valeurs minimales et maximales) des données si vous sélectionnez cette option dans la boîte de dialogue Options d'affichage lorsque vous entrez dans le navigateur de tableaux. L'affichage des valeurs individuelles et des valeurs extrêmes est le paramètre par défaut.**

2.10. Concepteur de rapport



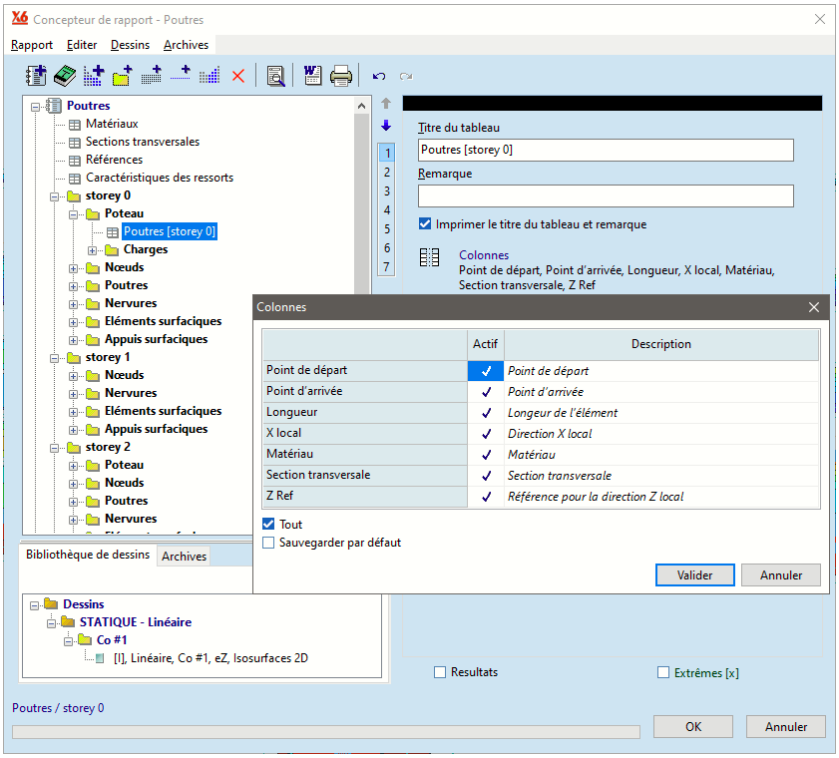
[F10]



Concepteur de rapport est un outil permettant de compiler un rapport complet d'un projet en utilisant des éléments de rapport (tableaux / dessins / images créés par AxisVM et blocs de texte définis par l'utilisateur). Les rapports sont stockés dans le fichier projet *(*.axs)* et peuvent être imprimés ou enregistrés sous forme de fichier RTF (Rich Text Format). Les fichiers RTF peuvent être traités par d'autres programmes (par exemple, Microsoft Word).

Les tableaux exportés à partir de Navigateur de Tableau sont automatiquement mis à jour si le projet a été modifié ou si certaines de ses parties ont été supprimées.

Création de rapport peut gérer plusieurs rapports différents pour un même projet. La structure des rapports est affichée dans une arborescence à gauche. Les propriétés de l'élément de rapport sélectionné sont affichées sur le côté droit de la fenêtre.

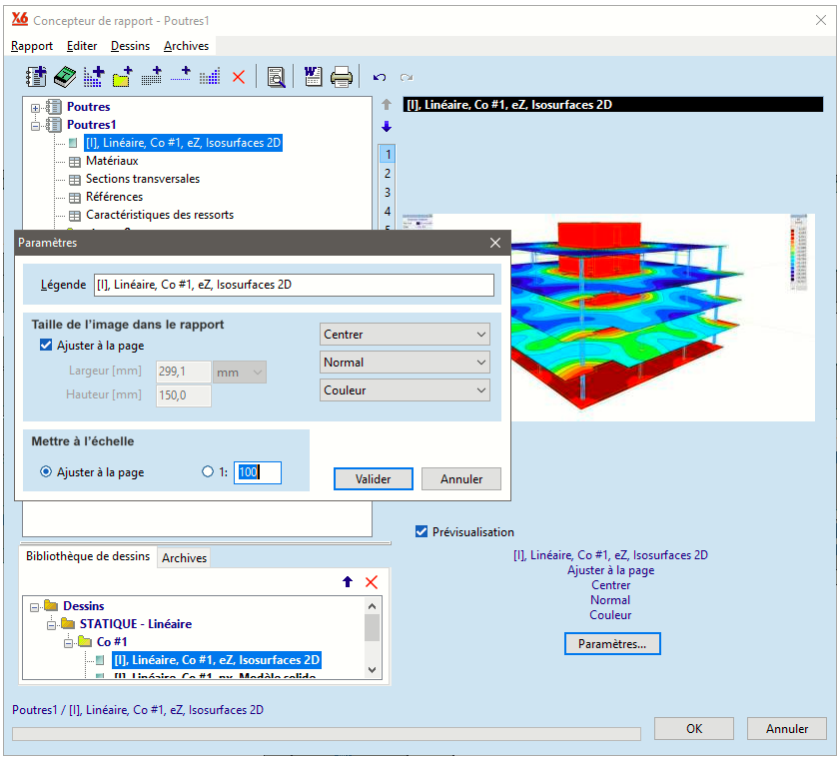


Dossier Si un dossier est sélectionné, son nom peut être édité à droite.

Tableau Si un tableau est sélectionné, son texte de commentaire, les titres des colonnes et d'autres propriétés sont affichés. L'affichage du titre, du commentaire et des colonnes peut être activé ou désactivé. Le titre et le commentaire peuvent être modifiés, mais les titres personnalisés ne sont pas translatés lorsque l'on change la langue du rapport.

Texte Si un bloc de texte est sélectionné, le texte est affiché à droite. Cliquez sur le bouton *Modifier le texte...* pour effectuer des modifications.

Image ou dessin Si une image ou un dessin est sélectionné, il est affiché à droite. Sa taille, son alignement et sa légende peuvent être définis en cliquant sur le bouton *Paramètres*.



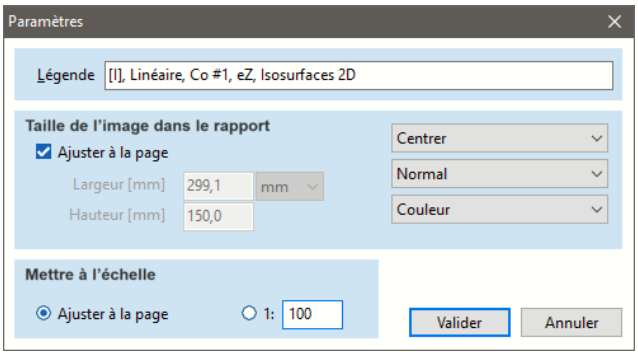
Bibliothèque de dessins

En cliquant sur l'onglet *Bibliothèque de dessins,* vous pouvez parcourir les dessins sauvegardés et ajouter les dessins sélectionnés au rapport. Contrairement aux images des archives, ces dessins ne sont pas des fichiers graphiques, mais des paramètres de visualisation stockés pour recréer le dessin à tout moment. De cette façon, les dessins seront automatiquement mis à jour si nous changeons et recalculons le projet.
Voir en détail... *3.6.10. Bibliothèque de dessins*, *3.6.11. Sauvegarder dans la bibliothèque*

Archives

En cliquant sur l'onglet *Archives*, vous pouvez parcourir les images enregistrées (BMP, JPG, WMF, EMF) situées dans un dossier nommé *Images_modelname* et ajouter les *images* sélectionnées au rapport. Ce dossier est automatiquement créé en tant que sous-dossier du dossier projet.
Voir en détail... *2.10.5 Archives*

Paramètres



Cliquez sur le bouton *Paramètres...* pour modifier la légende, la taille, la justification, le mode de couleur de rotation ou l'échelle des dessins.

Vous pouvez sauvegarder le dessin en cours à l'écran ou les tableaux de résultats dans les modules d'étude avec la fonction *Édition\ Sauvegarde des dessins et des tableaux de résultats de conception* dans le menu principal.
Voir... *3.2.12. Sauvegarder dans la bibliothèque des dessins*

Une ou plusieurs images sélectionnées dans les archives peuvent être insérées dans un rapport en sélectionnant l'élément de menu *Archives/Ajouter des images au rapport* ou en cliquant sur le bouton flèche au-dessus des archives ou par glisser-déposer.

Dans les rapports imprimés, Concepteur de rapport construit automatiquement une table des matières et l'insère au début du rapport. Les tableaux sont classés selon leur titre. Les blocs de texte ne sont listés que s'ils ont été formatés en utilisant l'un des styles d'en-tête de l'éditeur de texte. Les images ne sont listées que si elles sont accompagnées d'une légende.

2.10.1. Barre d'outils Rapport




Créer un nouveau rapport
Voir...*2.10.2. Rapport*


Modèle de rapport
Voir... *2.10.3.1. Modèle de rapport*


Créez un rapport basé sur plusieurs options de filtres
Voir... *2.10.3.3. Rapport basé sur un filtre*


Insérer un dossier
Voir... *2.10.3. Editer*


Insérer un texte formaté
[Ctrl]+[T]
Voir... *2.10.3. Editer*


[Ctrl]+[Alt]+[B]

Insérer un saut de page
Voir... *2.10.3. Editer*



Filtre de sélection
Voir... *2.10.3. Editer*


[Suppr], [Ctrl]+[Suppr]

Supprime le rapports ou l'éléments de rapport sélectionné
Voir... *2.10.3. Editer*


[Ctrl]+[R]

Aperçu du rapport complet
Voir... *2.10.2. Rapport*


[Ctrl]+[W]

Exporter le rapport entier en tant que de fichier RTF
Voir... *2.10.2. Rapport*


[Ctrl]+[P]

Imprimer
Voir... *2.10.2. Rapport*

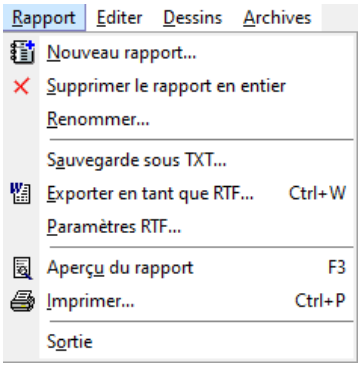
[Ctrl]+[Z]

Défaire
Voir... *2.10.3. Editer*

[Maj]+[Ctrl]+[Z]

Refaire
Voir... *2.10.3. Editer*

2.10.2. Rapport



Nouveau rapport



Crée un nouveau rapport. Les noms des rapports peuvent comporter 32 caractères.

Supprimer le rapport en entier


[Suppr], [Ctrl]+[Suppr]

Supprime le rapport en cours (c'est-à-dire le rapport qui contient l'élément sélectionné). Les images utilisées dans le rapport ne sont pas supprimées des archives.

Renommer

Donne un nouveau nom à un rapport existant.

Sauvegarder sous TXT

Exporte le rapport dans un fichier texte ASCII. Les dessins ou images ne sont pas inclus.

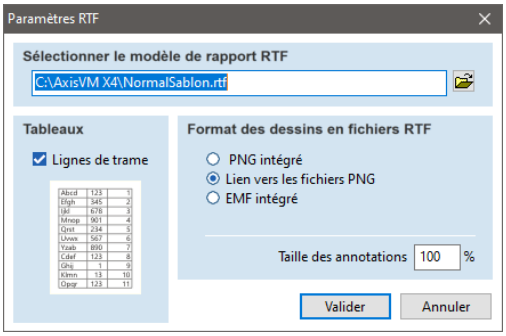
Exporter en tant que RTF



Enregistre le rapport sous le *nom .rtf en* utilisant le projet actuel. Si vous enregistrez le fichier dans un dossier différent du dossier du projet, tous les fichiers d'images utilisés dans le rapport sont copiés dans un sous-dossier automatiquement créé ***Images_modelname***. C'est nécessaire car les images sont seulement liées et non enregistrées dans le document RTF. Pour imprimer le rapport RTF sur une machine différente, assurez-vous que les fichiers d'images sont également copiés dans un sous-dossier ***Images_modelname.***
Le formatage des caractères et des paragraphes des blocs de texte sera exporté. La seule exception est la couleur des caractères. Les tableaux seront exportés sous forme de tableaux RTF. Les titres des tableaux sont formatés dans le style de l'en-tête 3, de sorte qu'il est facile de construire automatiquement un tableau des matières à l'aide de Microsoft Word.

Paramètres RTF

AxisVM enregistre les rapports dans des fichiers RTF en utilisant un modèle (le modèle par défaut est *Template.rtf* dans le dossier du programme). Vous pouvez également utiliser d'autres modèles. Lorsque vous modifiez un modèle, vous pouvez créer votre propre page de garde et votre propre en-tête/pied de page pour le rapport. Lisez attentivement le texte du fichier projet avant de le modifier.



Le format des dessins en fichier RTF peut également être défini :

PNG intégré : Les dessins sont intégrés au fichier. Cette méthode permet une portabilité avec une taille plus petite grâce à une compression sans perte des images.

Lien vers les fichiers PNG : Cette option permet de réduire la taille du fichier RTF car les dessins sont stockés dans des fichiers externes. Les dessins n'apparaissent que si des images sont présentes dans un sous-dossier *Images_modelname* relatif au dossier du fichier RTF.

EMF intégré : les dessins sont intégrés dans le fichier en tant qu'EMF (Enhanced Windows Metafile). Cela améliore la portabilité mais peut entraîner une taille de fichier énorme.

Taille des annotations : la taille de la police utilisée sur les dessins exportés peut ici être ajustée avec précision.

Lignes de trame : Les lignes de trame des tableaux exportés peuvent également être activées/désactivées.

Aperçu du rapport

 **[F3]**

Affiche un dialogue d'aperçu avant impression. Vous pouvez régler le facteur de zoom entre *10%* et *500%* (*Largeur de page* et *Pleine page sont* également une option). Cliquez sur les boutons ou utilisez le clavier pour passer d'une page à l'autre (**[Accueil]** = première page **[←] = page** précédente, **[→] = page** suivante, **[Fin] =** dernière page.
L'aperçu du rapport peut afficher plusieurs pages. **[PgUp] [PgDn]** avance et recule en fonction du nombre de pages affichées.

Imprimer

 **[Ctrl]+[P]**

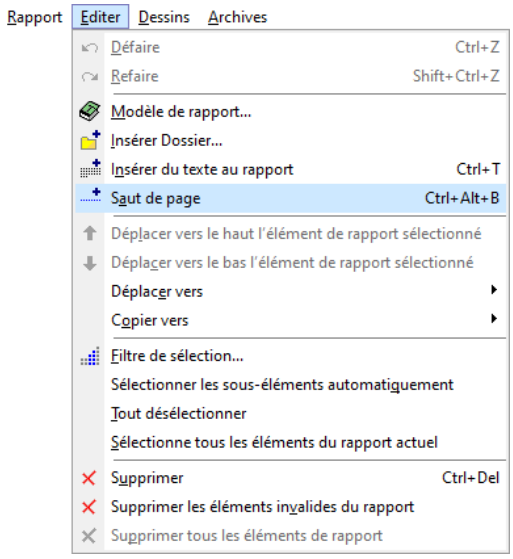
Un dialogue permettant de définir les paramètres d'impression et d'imprimer un rapport. Les options sont les mêmes que celles de l'impression des tableaux. En activant l'option ***Description des colonnes du tableau,*** une explication des colonnes apparaît au bas de chaque tableau.

Nom: Nom de la section transversale; **Processus:** Processus de fabrication; **h:** Hauteur de la section transversale; **b:** Largeur de la section transversle; **tw:** Epaisseur de l'âme; **tf:** Epaisseur des ailes; r_1, r_2, r_3: Rayon arrondi; **Ax:** Surface de la section transversale; **Ay, Az:** Surface de cisaillement; **Ix:** Inertie de torsion; **Iy, Iz:** Inertie de flexion; **Iyz:** Inertie centrifuge; I_1, I_2: Moment d'inertie principal; **α:** Directions principales; **Iω:** Constante de déformation; $W_{1,el,r}$, $W_{1,el,b}$, $W_{2,el,r}$, $W_{2,el,b}$: Module elastique; $W_{1,pl}$, $W_{2,pl}$: Module plastique; i_y, i_z: Rayon d'inertie; **Hy:** Cotation dans la direction y local; **Hz:** Cotation dans la direction Z local; **yG:** Coordonnée Y du centre de gravité; **zG:** Coordonnée Z du centre de gravité; y_s: Coordonnée Y du centre de cisaillement (torsion) par rapport au centre de gravité; z_s: Coordonnée Z du centre de cisaillement (torsion) par rapport au centre de gravité; β_y, β_z, β_w: Wagner-paraméter; **P.c.:** Points de calcul de contrainte;

Sortie

Quitte *Création de rapport.*

2.10.3. Editer



Certaines des fonctions du menu *Édition* sont également disponibles dans le menu contextuel après avoir cliqué sur le bouton droit de la souris sur un élément du rapport.

Défaire — Annule l'effet de la commande précédente.

Refaire — Exécute la commande qui a été annulée.

Modèle de rapport — Voir... *2.10.3.1. Modèle de rapport*



Insérer dossier — Insère un nouveau dossier dans l'arborescence, sous l'élément en cours. Le nom du dossier en cours apparaît sur le côté droit sous l'icône du dossier.
Le nombre de niveaux étendus (1-7) de l'arbore de rapport peut être défini avec la barre de réglage des niveaux.



Insérer du texte au rapport — Lance un éditeur de texte intégré pour créer un nouveau bloc de texte. Le texte formaté sera inséré après l'élément de rapport sélectionné.



[Ctrl]+[T]

Saut de page — Insère un saut de page après l'élément de rapport sélectionné.



[Ctrl]+[Alt]+[B]

Déplacer vers le haut/le bas l'élément de rapport sélectionné — Déplace d'une unité vers le haut ou vers le bas l'élément de rapport sélectionné.



Déplacer vers / Copier vers — Déplace / copie l'élément de rapport sélectionné à la fin d'un autre rapport.

Filtre de sélection — Détermine les types d'éléments de rapport qui peuvent être sélectionnés (rapport, tableau, dessin, image, texte, saut de page, dossier).



Sélectionner les sous-éléments automatiquement — Si vous activez cette case à cocher et que vous sélectionnez un dossier, toutes les sous-rubriques seront sélectionnés automatiquement.

Désélectionner tout — Désélectionne tous les éléments sélectionnés dans la documentation.

Sélectionnez tous les éléments du rapport actuel — Chaque élément du rapport en cours sera sélectionné.

Supprimer

[Suppr], [Ctrl]+[Suppr]

Supprime l'élément de rapport sélectionné (bloc de texte, image, tableau, saut de page). Si la sélection actuelle dans l'arbre est un rapport, il supprime le rapport entier.

Supprimer tous les éléments du rapport

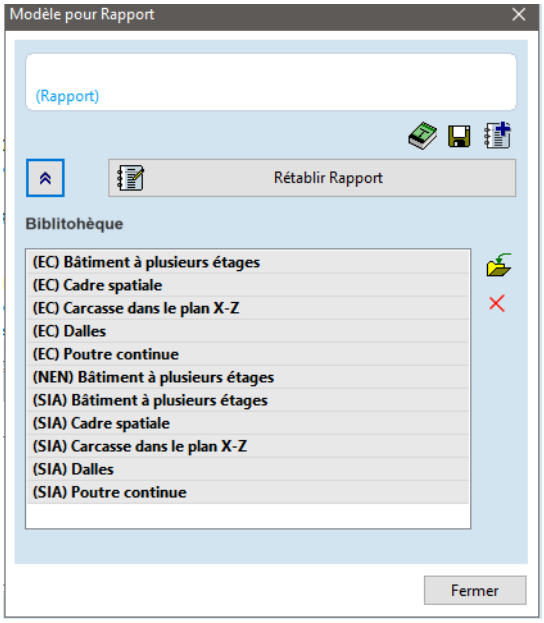
Supprime tous les éléments du rapport actuel mais ne supprime pas le rapport lui-même.

2.10.3.1. Modèle de rapport

Les modèles de rapport peuvent être utilisés pour générer des rapports basés sur certains préréglages, filtres et préférences. Les rapports générés se composent de dessins et de tableaux. Les modèles peuvent être enregistrés sous forme de fichiers et réutilisés pour générer des rapports pour d'autres projets.

La gamme des éléments inclus, les données du projet et les composantes du résultat peuvent être définies par des filtres.

Un clic sur l'icône ouvre la boîte de dialogue de l'administrateur de modèles. Si le rapport actuel a été généré à partir d'un modèle, le modèle est chargé. Si le rapport actuel n'a pas été basé sur un modèle, un nouveau modèle par défaut apparaît.
Si le dialogue est ouvert (voir ci-contre), une liste de projets prédéfinis (sur fond gris) et définis par l'utilisateur (sur fond blanc) apparaît dans la partie inférieure. En cliquant sur un élément de la liste, le projet est chargé.
Les projets sont répertoriés avec leurs noms spécifiés dans l'éditeur de projets (voir... *2.10.3.2. Édition d'un*).
Les projets sont enregistrés et chargés dans le dossier suivant:
c:\N- Utilisateurs [nom d'utilisateur] [données d'application] [itinérance] [AxisVM] [numéro de version] [projets].



Rapport sur la reconstruction

Si le projet a été étendu et que le rapport doit être mis à jour (par exemple, l'étude des éléments en acier a été achevée), cliquez sur le bouton *Reconstruire*.
Tout élément de rapport inséré par l'utilisateur sera supprimé.

Ce bouton permet d'ouvrir ou de fermer la partie inférieure du dialogue avec la liste des modèles.

Les icônes de la barre d'outils ont les fonctions suivantes.

Editer rapport
Les filtres de contenu et les vues utilisées sur les dessins peuvent être édités. Voir... *2.10.3.2. Édition d'un*

Enregistrez ce rapport comme fichier
Le modèle de rapport actuel peut être enregistré dans un fichier pour le réutiliser dans un autre projet. Les modèle de rapport ont une extension **.rep* et sont enregistrés dans le dossier des modèles décrit ci-dessus.

Créer un nouveau rapport
Construit un nouveau rapport basé sur le modèle de rapport actuel.

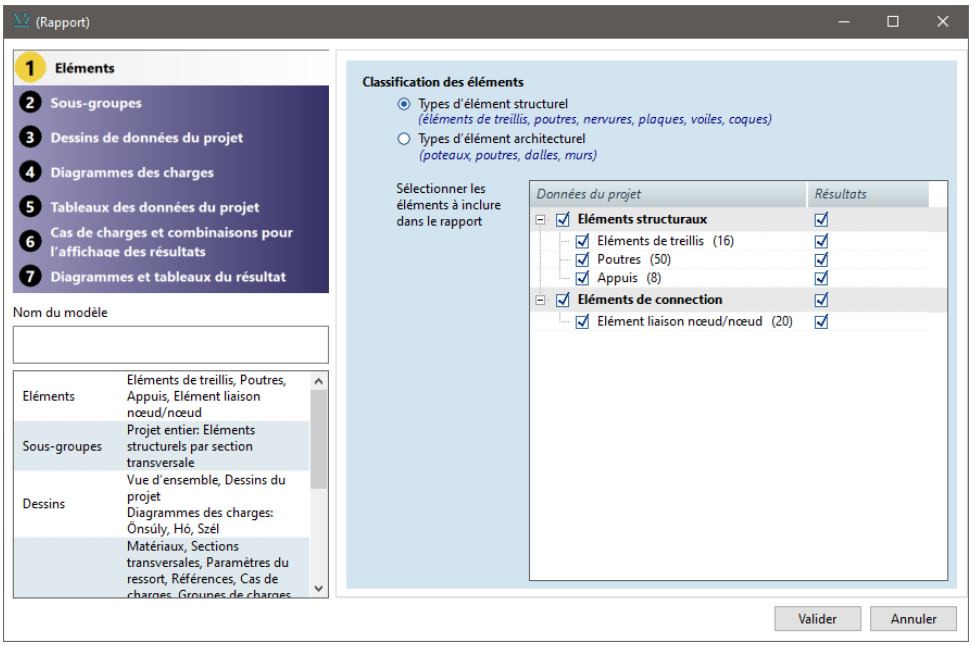
Importer...
Les fichiers modèles de rapports *(*.rep)* peuvent être importés d'autres endroits dans le dossier de la bibliothèque de modèles de rapports. Les modèles de rapport importés peuvent être utilisés de la même manière que les modèles de rapports prédéfinis.

Supprimer
Supprime le modèle de rapport sélectionné de la bibliothèque de modèles de rapport.

2.10.3.2. Édition d'un modèle de rapport

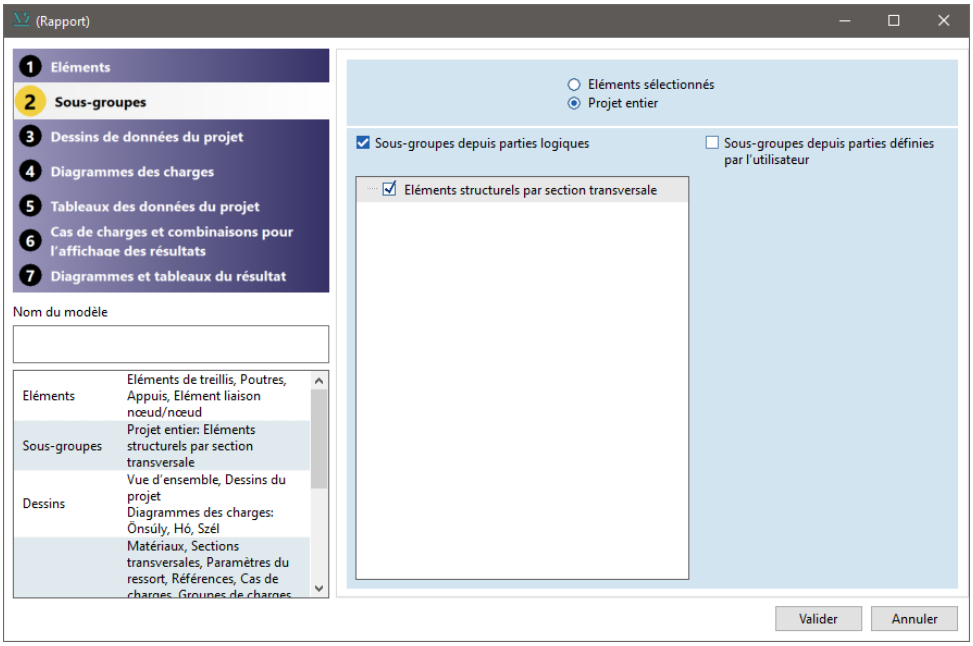
La création d'un modèle de rapport est une tâche complexe. Les étapes de ce processus sont énumérées à gauche. En cliquant sur ces éléments, nous pouvons modifier les options de filtrage et d'autres paramètres. Un champ de saisie sous la liste permet d'entrer un nom pour le modèle re rapport. La boîte de dialogue de l'administrateur du modèle de rapport répertorie les modèles par leur nom.

Éléments]



La première étape consiste à sélectionner les types d'éléments à inclure dans le rapport et à choisir la classification des éléments. Si *Types d'éléments structuraux* est sélectionné, les éléments seront classés selon leur type d'élément fini. Si *Types d'éléments architecturaux* est sélectionné, les éléments seront classés selon leur type architectural (terme issu de la géométrie de l'élément).
Les données et les résultats des éléments peuvent être sélectionnés séparément pour les rapports.
Les prochaines étapes consisteront à afficher des tableaux et des dessins basés sur cette sélection.

Sous-groupes

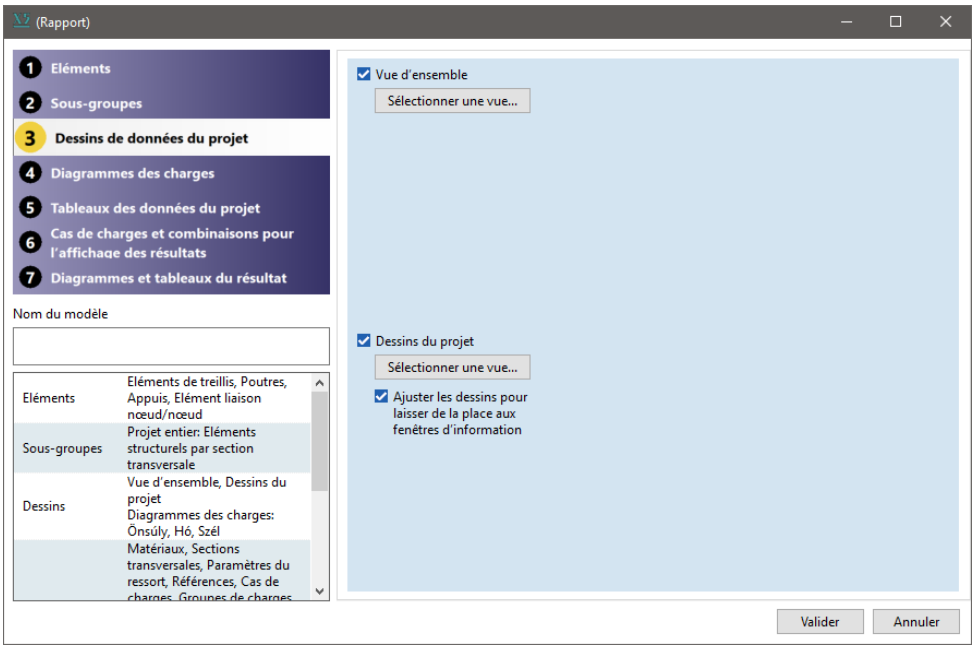


La deuxième étape consiste à définir les sous-groupes pour les éléments signalés. Un sous-rapport complet sera établi pour chaque sous-groupe.
Si l'option *Éléments sélectionnés* est activée, seuls les éléments sélectionnés avant l'ouverture du Création de rapport seront signalés.

Si l'option *Sous-groupes depuis parties logiques* est activée, des sous-groupes peuvent être créés à partir de domaines ayant la même épaisseur, d'éléments structuraux ayant la même section transversale ou d'étages (seuls les étages sélectionnés seront signalées).

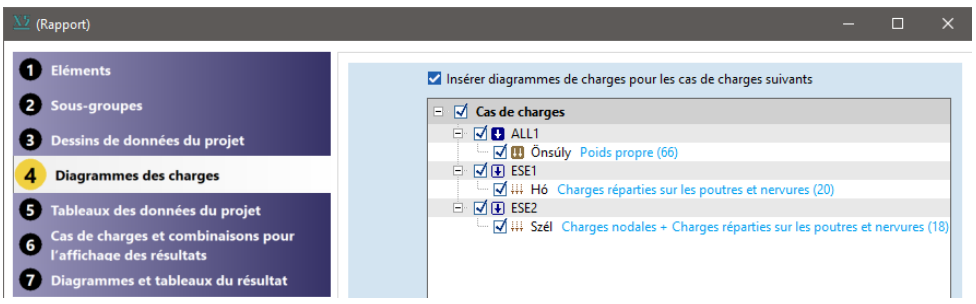
Si la case *Valider les domaines un par un, est* cochée, chaque domaine sera signalé séparément. Les domaines internes (qui se trouvent entièrement dans un autre domaine) sont signalés avec le domaine externe, même dans ce cas.
Si le *projet entier* est sélectionné, des sous-groupes peuvent également être créés à partir de parties définies par l'utilisateur.

dessins de données du projet



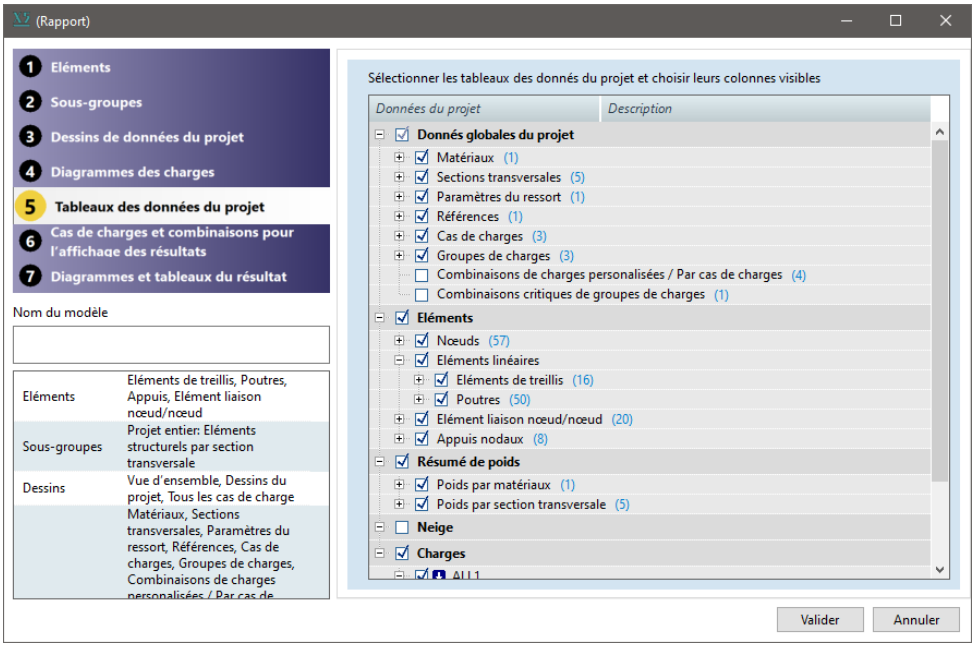
Si la case *Vue d'ensemble* est cochée, une vue du projet sera insérée au début du rapport. Cliquez sur *Sélectionner une vue...* pour choisir une vue dans la bibliothèque de dessins.
Cochez *Dessins du projet* si vous souhaitez inclure des diagrammes de charge et de résultats créés automatiquement. Cliquez sur *Sélectionner une vue...* pour choisir une vue dans la bibliothèque de dessins.
Les diagrammes générés hériteront de tous les paramètres du dessin sélectionné (point de vue, statut des symboles graphiques, numérotation, étiquetage, etc). Si aucun dessin n'est sélectionné (par exemple, la bibliothèque de dessins est vide), les dessins suivront la vue actuelle dans la fenêtre active.
Si un diagramme n'est affiché que sur une certaine partie de la structure, la vue est zoomée pour adapter le dessin à la fenêtre. Le point de vue et le statut des symboles graphiques restent inchangés.
La vérification "*Ajuster les dessins pour laisser de l'espace aux fenêtres d'information*" *permet de* régler le zoom pour que le dessin s'inscrive dans l'espace rectangulaire maximum disponible parmi les fenêtres d'information.

Diagrammes des charges



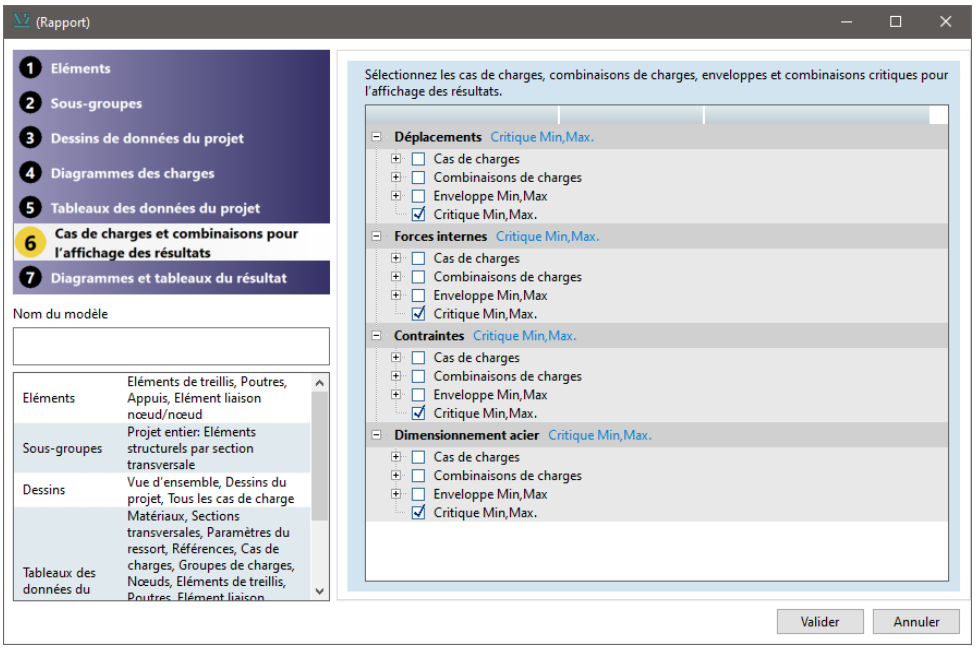
Si la *case Insérer diagrammes de charge pour les cas de charge suivants est* cochée, sélectionnez les cas de charge pour ajouter leurs diagrammes de charge au rapport. Les diagrammes de charge seront générés à partir de la vue définie pour les *dessins du projet à* l'étape précédente.

Tableaux de données du projet



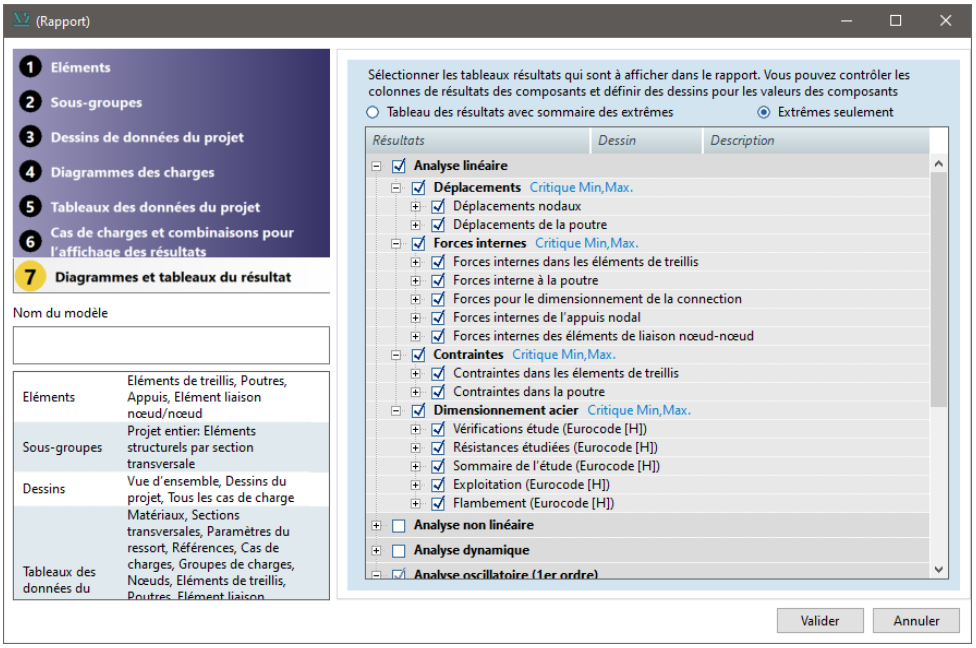
Sélectionner des tableaux de données du projet à ajouter au rapport. Vous pouvez définir les colonnes visibles des tableaux pour affiner le contenu du rapport.
Dans la rubrique *Éléments,* vous ne trouverez que les éléments que vous avez sélectionnés lors de la première étape.
Sous la rubrique *Charges,* vous pouvez sélectionner des cas de charge pour ajouter leurs tableaux de données de chargement au rapport.

Charger les cas et les combinaisons pour l'affichage des résultats



AxisVM fournit une quantité énorme de résultats. Il est important de décider quels cas de charge, combinaisons, enveloppes ou combinaisons critiques doivent contribuer au rapport pour les déplacements, les forces internes, les contraintes, les valeurs d'armature, les contrôles d'étude acier ou en bois.

Diagrammes et tableaux du résultat



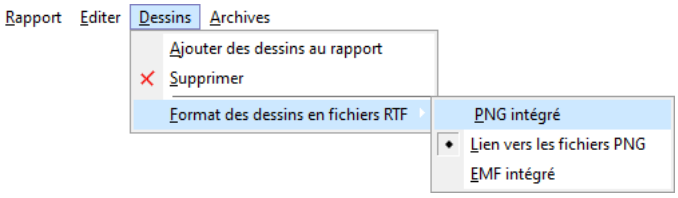
La dernière étape consiste à choisir parmi les tableaux de résultats possibles et à contrôler la visibilité de leurs colonnes. Il est également possible de générer des diagrammes de résultats pour les composantes de résultats. Cliquez dans la colonne *Dessin* dans une ligne d'un composant de résultat. Vous pouvez choisir un mode de dessin pour ce composant dans la liste déroulante, même si vous laissez la case non cochée (en masquant la colonne correspondante). Les diagrammes de résultats seront générés à partir de la vue définie pour les *dessins du projet* et seront insérés avant le tableau.

2.10.3.3. Rapport basé sur un filtre



La création de rapports à partir d'options de filtrage est une méthode plus ancienne qui est moins configurable et dont le contenu n'est pas mis à jour mais peut être utilisé dans des cas simples. Sélectionnez les types d'éléments et de charges, les cas de charge et les composants de résultats dans l'arbre de filtrage sur la gauche pour contrôler la composition des rapports. Le rapport résultant apparaît dans l'arbre à droite. Ses éléments individuels peuvent être cochés ou décochés. Seuls les éléments cochés seront inclus dans le rapport généré.

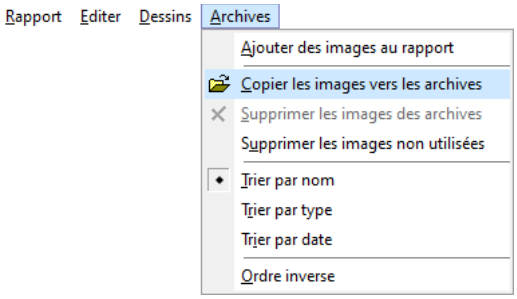
2.10.4. Dessins



Ajouter des dessins au rapport

Insère le(s) dessin(s) sélectionné(s) de la bibliothèque de dessins dans le rapport sélectionné. Le lieu d'insertion est déterminé par l'élément sélectionné dans l'arbre de rapport. L'effet de cette fonction est le même que celui du bouton  de l'onglet Bibliothèque de dessins.

2.10.5. Archives



Ajouter des images au rapport — Insérer des images sélectionnées dans le rapport actuel.

Copier les images vers les archives — Vous pouvez copier les bitmaps *(.BMP, .JPG, .PNG)* et les Windows Metafiles *(.WMF)* dans le dossier *Images_modelname*.



Supprimer des images des archives — Supprime les images sélectionnées dans les archives. Les fichiers sont supprimés définitivement.



Supprimer les images non utilisées — Supprime les images qui ne sont pas utilisées dans les rapports.

Trier par nom / type / date — Les archives trie les images par nom de fichier / par type *(.BMP, .EMF, .JPG, .WMF)* ou par date.



Ordre inverse — Si les images sont cochées, elles sont triées par ordre décroissant. Sinon, les images sont triées par ordre croissant.



2.10.6. Barre d'outils archives et bibliothèque de dessins



Vous pouvez effectuer certaines tâches plus rapidement en utilisant ces petites barres d'outils.



Supprime les images ou les dessins sélectionnés des archives



Insérer des images ou des dessins sélectionnés dans le rapport actuel.
Le lieu d'insertion est déterminé par l'élément sélectionné dans l'arbre de rapport.



Copie les photos d'autres endroits dans l'archive. Cette fonction n'est pas disponible dans l'onglet Bibliothèque de dessins.

2.10.7. Éditeur de texte

Après avoir sélectionné *Insérer un texte* au *rapport,* un texte formaté peut être créé dans un simple traitement de texte de type WordPad.

Dossier

Ouvrez **[Ctrl]+[O]** — Le but principal de cette fonction est de charger un fichier Rich Text écrit dans l'éditeur de texte. Si vous ouvrez un fichier RTF créé dans un autre traitement de texte, il peut contenir des commandes spéciales (par exemple des tableaux, des bordures de paragraphe, des caractères Unicode) qui ne sont pas prises en charge par cet éditeur simple. En conséquence, vous pouvez obtenir une série de commandes de contrôle rtf au lieu d'un texte formaté.

Sauvegarder **[Ctrl]+[S]** — Enregistre le texte dans un fichier RTF.

Sortie — Quitte l'éditeur de texte.

Edit

défaire / Refaire **[Alt]+[BkSp] / [Maj]+[Alt]+[BkSp]**	défait / refait la dernière action d'édition.
Couper **[Ctrl]+[X]**	Coupe le texte sélectionné et le place dans le Presse-papiers.
Copie **[Ctrl]+[C]**	Copie le texte sélectionné dans le Presse-papiers.
Coller **[Ctrl]+[V]**	Colle le contenu du presse-papiers à la position actuelle.
Trouver **[Ctrl]+[F]**	Vous pouvez rechercher n'importe quel texte dans le document. Vous pouvez effectuer une recherche à partir du début ou de la position actuelle. Vous pouvez rechercher des mots entiers uniquement et activer et désactiver la sensibilité à la casse.
Trouver la suite **[F3]**	Si une correspondance a été trouvée, vous pouvez obtenir la correspondance suivante avec cette fonction.
Sélectionner tout **[Ctrl]+[A]**	Sélectionne l'ensemble du texte.

Typographie

En gras **[Ctrl]+[B]**	Applique le formatage en gras au texte sélectionné.
Italique **[Ctrl]+[I]**	Applique le formatage en italique au texte sélectionné.
Souligné **[Ctrl]+[U]**	Applique le formatage du soulignement au texte sélectionné.
Couleur **[Ctrl]+[Alt]+[C]**	Définit la couleur des caractères de la sélection.

Paragraphe

Justifier à gauche **[Ctrl]+[L]**	Justifie les paragraphes sélectionnés à gauche.
Centrer sur **[Ctrl]+[E]**	Justifie les paragraphes sélectionnés par rapport à la ligne centrale.
Justifier à droite **[Ctrl]+[R]**	Justifie les paragraphes sélectionnés à droite.
Point **[Ctrl]+[Alt]+[U]**	Place des points avant les paragraphes sélectionnés.

2.11. Étages



Voir en détail... *3.3.4 Etages*

2.12. Gestionnaire de calques



Voir en détail... *3.3.3. Gestionnaire de calques*

2.13. Bibliothèque de dessins



Voir en détail... *3.6.10. Bibliothèque de dessins*

2.14. Sauvegarder dans la bibliothèque de dessin



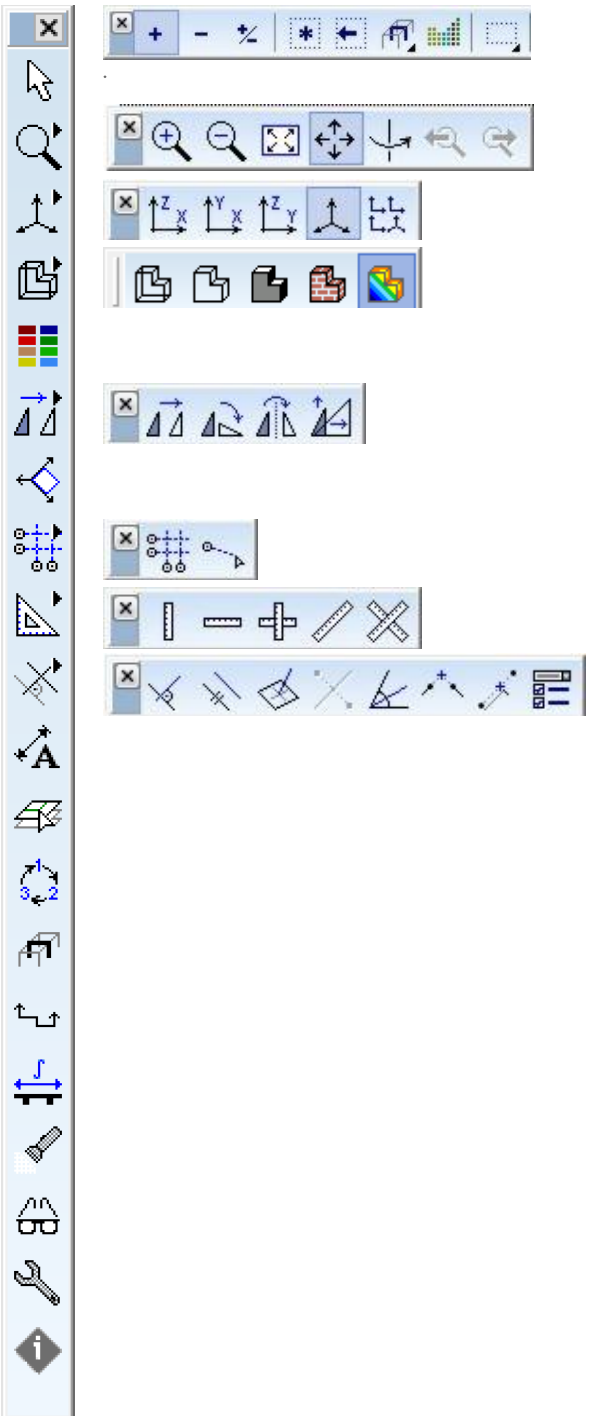
Voir en détail... *3.6.11. Sauvegarder dans la bibliothèque des dessins*

2.15. Exporter la vue actuelle en PDF 3D – module PDF



Enregistre la vue actuelle dans un fichier PDF en 3D.
Le résultat est un fichier PDF contenant une vue en 3D. Adobe Acrobat Reader permet de zoomer et de faire pivoter le projet depuis la version 8.1 mise à jour.
Le fichier contient également les armatures réelles

2.16. La barre d'icônes



Glisser et ancrer la barre d'icônes et les barres d'outils déroulantes

La barre d'icônes de gauche et toute barre d'outils mobile peuvent être glissées et ancrées.

Glisser et amarrer la barre d'icônes

Si vous déplacez la souris sur la poignée de la barre d'icônes (sur son bord supérieur), le curseur changera de forme (déplacement). Vous pouvez faire glisser la barre d'icônes à n'importe quelle position de l'écran. Si vous faites glisser la barre d'icônes hors de la zone de travail par son bord supérieur ou inférieur, la barre d'icônes devient horizontale. Si vous la faites glisser vers le bord gauche ou droit, elle devient verticale.

Si la barre d'icônes est horizontale, vous pouvez l'ancrer en haut ou en bas. Vous pouvez modifier la position et l'ordre des barres d'icônes ancrées en les faisant glisser. Dans l'éditeur de section transversale et dans les boites de dialogues des armatures des poutres et des poteaux, les barres d'icônes ne peuvent pas être ancrés. La fermeture d'une barre d'icônes flottante rétablit sa position initiale à l'amarrage à gauche.

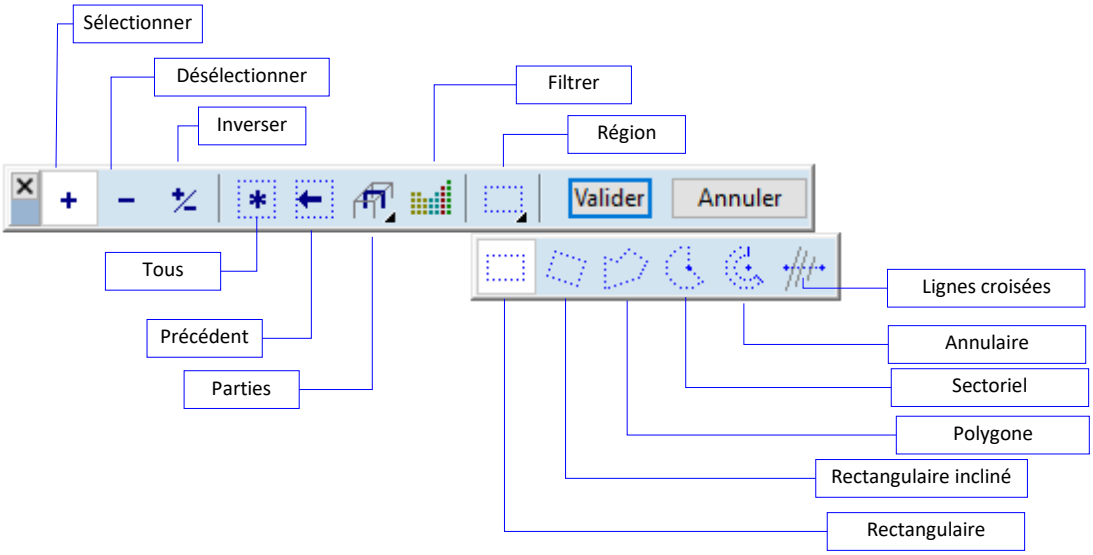
Traîner et amarrer les barres d'outils déroulantes
Vous pouvez également séparer les barres d'outils déroulantes de la barre d'icônes en faisant glisser leur poignée. En les fermant ou en les faisant glisser vers la barre d'icônes, vous les remettez dans leur position initiale. Les barres d'outils flottantes déroulantes peuvent être fixées en haut ou en bas.

☞ **La barre d'icônes et les barres d'outils déroulantes peuvent être restaurées à leur position initiale en sélectionnant Paramètres / Barres d'outils à la position par défaut dans le menu**

2.16.1. Sélection



Activez le mode de sélection et la barre de l'icône de sélection s'affiche.



Cette commande vous permet de sélectionner un ensemble d'entités (nœuds (points), lignes, éléments finis et charges) pour le traitement. Lorsque vous exécutez des commandes, vous pouvez utiliser l'icône de sélection pour spécifier l'ensemble d'entités auquel appliquer la commande. Si la case à cocher Parties (voir section *2.16.14*) est activée, la sélection ne concernera que les pièces actives (visibles).
Vous pouvez modifier les paramètres d'affichage ou poursuivre la sélection dans une autre fenêtre pendant le processus de sélection. Ces options Cette commande vous permettent de sélectionner les éléments dans la vue la plus pratique. Les entités sélectionnées sont affichées en magenta dans la zone graphique.
Le processus de sélection est considéré comme terminé lorsque l'on appuie sur le bouton **VALIDER.**

Sélectionnez

Ajoute les entités actuellement sélectionnées à l'ensemble des entités sélectionnées.

Désélectionner

Supprime les entités actuellement sélectionnées de l'ensemble des entités sélectionnées.

Inverser

Inverse le statut de sélection des entités actuellement sélectionnées.

Tous

Applique le mode de sélection actuel (ajout, suppression ou inversion) à toutes les entités filtrées.

☞ **Toutes les commandes de sélection modifient l'état de sélection des éléments choisis dans le filtre de sélection (voir ci-dessous).**

Précédent

Restaure le jeu de sélection précédent.

Sélectionner des parties

En cliquant sur le bouton et sur une partie, listée, on sélectionne les éléments de la partie choisie.

Filtre

Permet de spécifier les critères de filtrage à utiliser lors de la sélection. Cochez les types d'éléments à sélectionner.

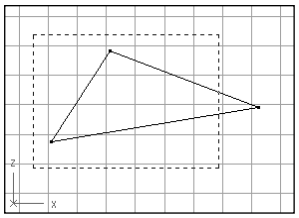
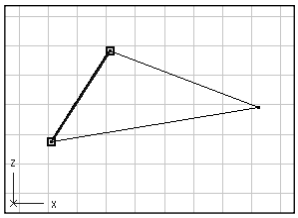
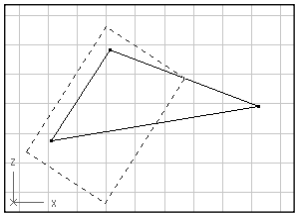
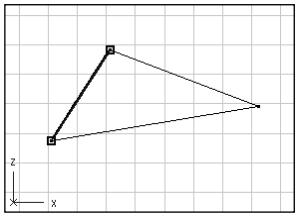
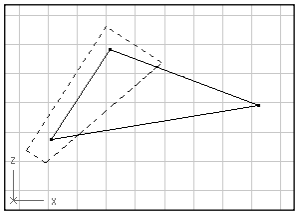
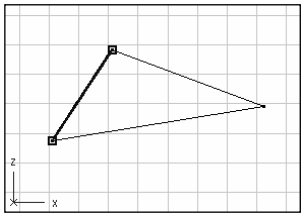
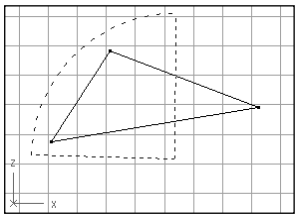
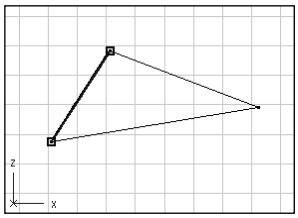
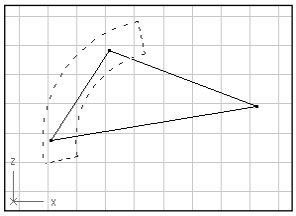
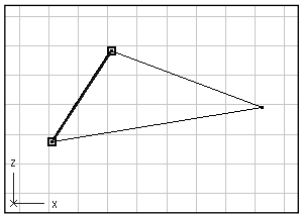
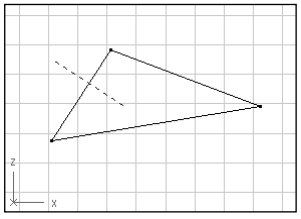
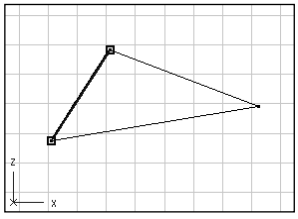
Le filtrage des propriétés Cette commande vous permet d'appliquer d'autres critères (longueur de la poutre, section transversale, matériau, épaisseur de la surface, référence). Tous les éléments correspondant à certains critères peuvent également être sélectionnés à l'aide de la ligne de commande intelligente (voir... *2.16.14*).

Méthode

Sélectionne les entités en utilisant différentes méthodes (formes de sélection). Des formes de sélection rectangulaires, rectangulaires obliques, sectorielles ou en anneau sont disponibles. Les exemples suivants illustrent l'application de différentes formes de sélection :

Lorsque vous dessinez un cadre rectangulaire, les règles suivantes s'appliquent : Faire glisser le cadre de sélection de gauche à droite sélectionne les éléments tombant entièrement dans le cadre.

Faire glisser le cadre de sélection de droite à gauche sélectionne les éléments qui ne sont pas entièrement à l'extérieur du cadre (c'est-à-dire qu'ils se trouvent à l'intérieur du rectangle de sélection ou le coupent).

	Sélection :	*Résultat :*
Rectangulaire		
Rectangulaire incliné.		
Polyline		
Sectoriel		
Annulaire		
Lignes croisées		

Valider Met fin à la sélection, en conservant l'ensemble sélectionné pour l'exploitation.

Annuler Met fin à la sélection, en rejetant l'ensemble sélectionné.

☞ **Si une entité est cachée par une autre entité, vous ne pouvez pas la sélectionner en cliquant simplement sur celle-ci. Dans un tel cas, vous devez changer de vue pour la sélectionner.**

Les nœuds sélectionnés sont marqués par un rectangle magenta qui les entoure. Il est parfois nécessaire de doublement sélectionner les nœuds. Dans ce cas, ces nœuds sont marqués d'un rectangle bleu supplémentaire qui les entoure.

Il est également possible de faire des sélections, sans utiliser la barre d'icônes de sélection. Maintenir le bouton **[Maj] enfoncé** pendant la sélection avec la ajoutera des entités à la sélection et maintenir le bouton **[Ctrl] enfoncé** pendant la sélection avec la supprimera des entités de la sélection.

Les doubles sélections peuvent être effectuées en maintenant la touche **[Alt] enfoncée** tout en double-cliquant sur les entités avec le bouton .

☞ **Pendant la sélection, vous pouvez modifier la vue ou passer à une autre vue ou perspective.**

2.16.2. Barre d'icônes zoom

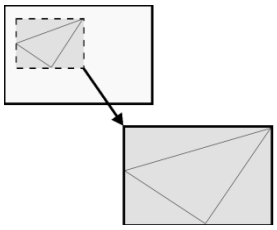
Affiche la barre d'icônes de zoom.



Zoom avant



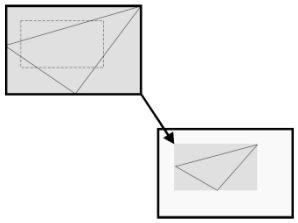
Affiche une zone du dessin projet spécifiée par deux points (deux coins opposés) sur la zone graphique définissant une région de zoom rectangulaire. En conséquence, la taille apparente du projet affiché dans la zone graphique augmente.



Zoom arrière



Affiche le projet dessiné à partir de la zone graphique sur la zone spécifiée par deux points (deux coins opposés) définissant une région de zoom rectangulaire. En conséquence, la taille apparente du projet affiché dans la zone graphique diminue.



Zoom pour s'adapter



Mettez le dessin du projet à l'échelle de la zone graphique, afin de pouvoir visualiser le projet dans son intégralité.

Pan



Déplace le dessin. Maintenez le bouton gauche de la tout en déplaçant la souris, jusqu'à ce que la position souhaitée du dessin soit obtenue sur l'écran.

Traine rapide :

Vous pouvez utiliser le bouton du milieu de la souris pour faire glisser le projet de dessin à tout moment (sans l'icône *Panoramique).*

1. Cliquez sur l'icône *Panoramique.*
2. Faites glisser le projet vers sa nouvelle position.

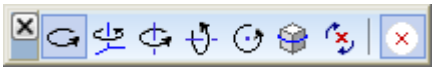


Cette forme de curseur indique que vous pouvez faire un panoramique du projet.

Faire tourner



Après avoir cliqué sur cette icône, vous pouvez faire pivoter le projet autour du centre du bloc d'encapsulation du projet en le faisant glisser. Pendant la rotation, la palette de dialogue rapide suivante apparaît dans la partie inférieure de l'écran:



Méthodes de rotation :


Rotation libre autour de l'axe horizontal de l'écran et de l'axe Z global.


Rotation autour de l'axe Z global.


Rotation autour de l'axe vertical de l'écran.


Rotation autour de l'axe horizontal de l'écran.


Rotation autour d'un axe perpendiculaire à l'écran.


Rotation autour de la boîte englobante des éléments à l'écran


Rotation autour d'un point sélectionné. Cliquez sur un point pour l'utiliser comme centre de rotation.

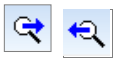

Contrôle l'affichage du symbole du centre de rotation.





Cette forme de curseur indique que vous pouvez faire pivoter le projet.

Défaire la vue / Refaire la vue



Annule / refait l'action de jusqu'à 50 commandes d'affichage.

2.16.3. Points de vue




Affiche la projection du projet sur le plan X-Z (vue de face).


Affiche la projection du projet sur le plan X-Y (vue de dessus).


Affiche la projection du projet sur le plan Y-Z (vue de côté).

Barre d'outils Perspective

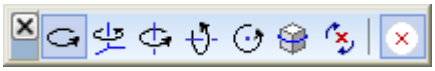


Définit les paramètres de l'affichage en perspective. La bonne vue peut être réglée en faisant tourner le dessin du projet autour des trois axes et en réglant la distance d'observation. Les angles de rotation peuvent être réglés avec une précision de 0,1 degré. Vous pouvez attribuer un nom à chaque paramètre que vous souhaitez enregistrer pour une exploitation ultérieure. Ecrivez un nom dans la combinaison et cliquez sur l'icône à gauche de la combinaison pour enregistrer les paramètres. Pour supprimer un paramètre de perspective, sélectionnez-le dans la liste déroulante et cliquez sur l'icône Supprimer à droite de la liste déroulante. Les paramètres de la palette sont enregistrés.

Distance d'observation La distance d'observation est la distance entre le point de vue et le centre du bloc d'encapsulation du projet.

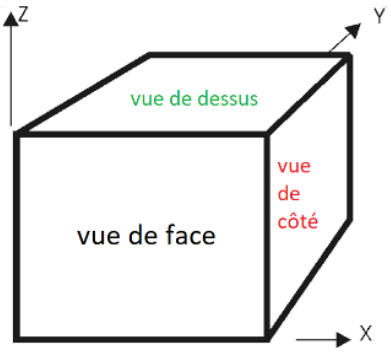
Rotation 

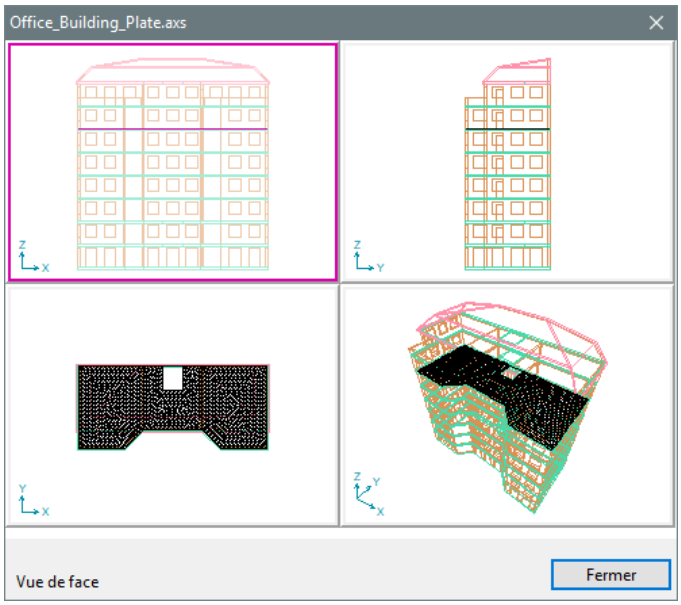
Après avoir cliqué sur l'icône de rotation, une palette de dialogue rapide apparaît comme décrit précédemment (*Barre d'icônes zoom*).



Vues, perspective 

Affiche trois vues de projection et la vue en perspective du projet, et Cette commande vous permet de sélectionner la vue que vous souhaitez afficher. Cliquez sur la vue que vous souhaitez sélectionner.





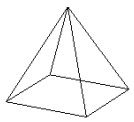
2.16.4. Modes d'affichage





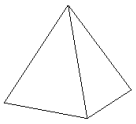


Fil de fer :
Affiche un dessin en fil de fer. Dans ce mode, l'axe des éléments linéaires et le plan médian des éléments surfacique sont affichés.



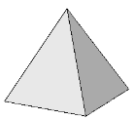


Suppression des lignes cachées :
Affiche un dessin dont les lignes cachées ont été supprimées.



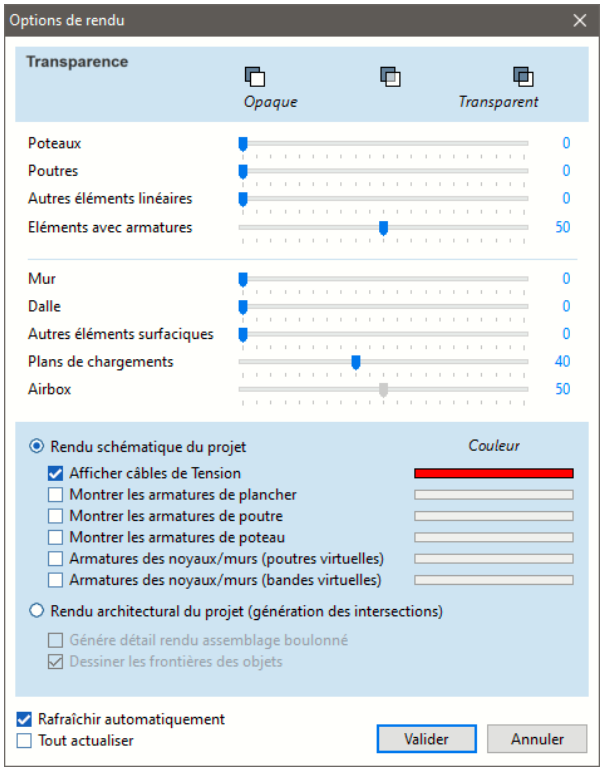


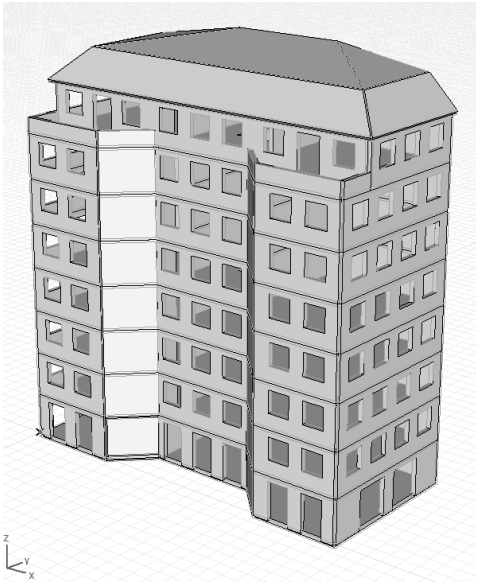
Rendu :
Affiche un dessin en mode rendu. Les éléments linéaires sont affichés avec leur section transversale réelle et les éléments surfaciques avec leur épaisseur réelle. Les couleurs des éléments sont affichées en fonction des couleurs attribuées à leurs matériaux. La vue rendue est plus lisse et montre les détails des sections transversales à parois minces.



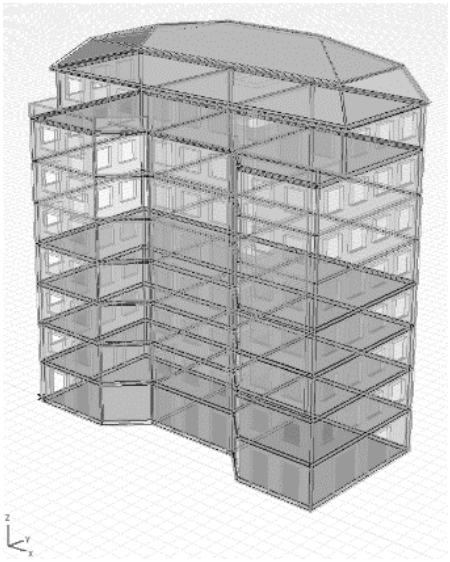
Options de rendu

Dans *Vue / options de* rendu... *la* transparence des types d'éléments peut être définie. Les types d'éléments sont déterminés par la géométrie.
Les éléments linéaires verticale sont considérés comme des poteaux, les éléments horizontaux comme des poutres, les domaines horizontaux comme des planchers, les domaines verticaux comme des murs.





Opaque



Transparent

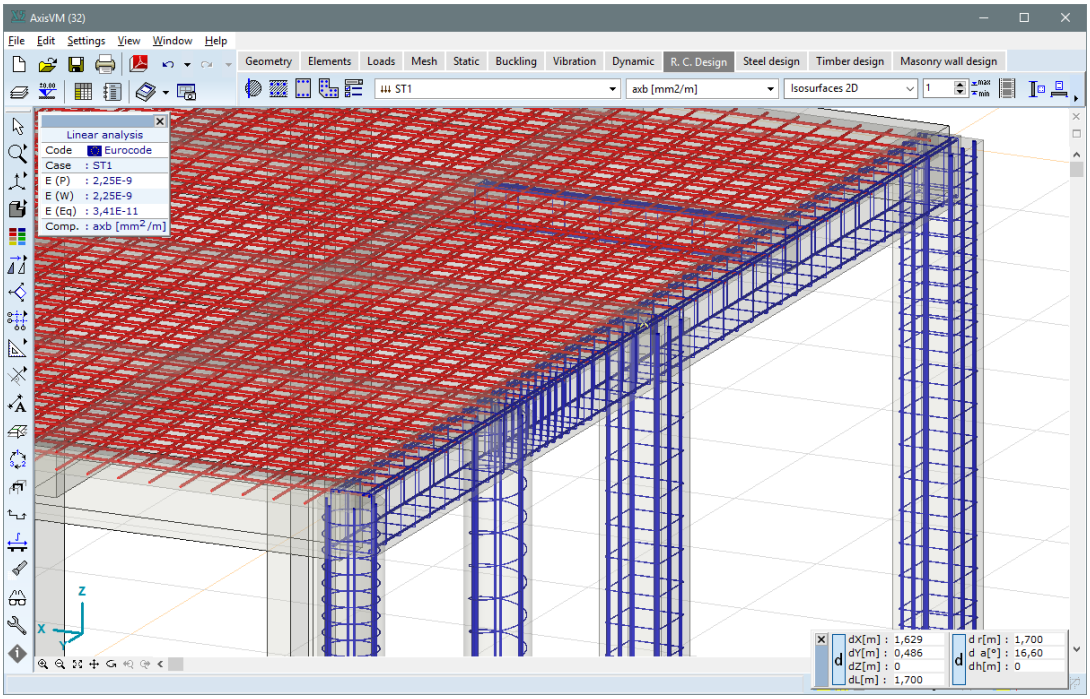
Type de rendu

Deux types de rendu sont disponibles :

Rendu schématique du projet

Affichage réaliste des structures. L'affichage des câbles de tension et des armatures des planchers / poteaux / poutre est facultatif. Cliquez sur les rectangles de couleur pour changer de couleur.

angol

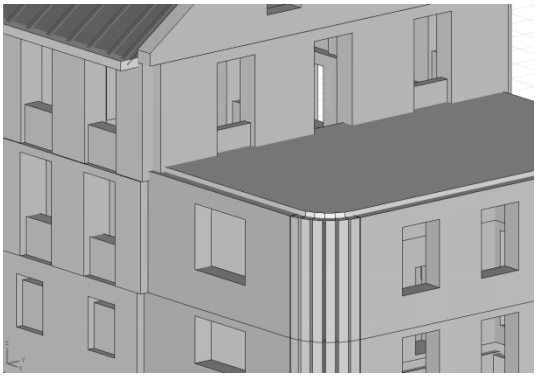


Rendu du projet architectural

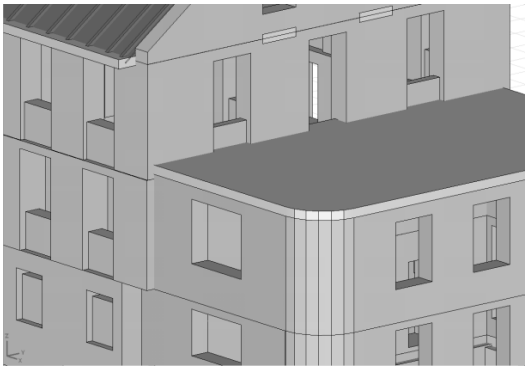
Au lieu de dessiner la structure, ce mode de rendu croise des connexions se rapprochant de l'aspect final du projet.

Le rendu détaillé des assemblages boulonnés tourne sur le rendu détaillé des assemblages boulonnés conçus.

Dessiner les bords d'un objet permet d'activer/désactiver les bords d'un objet.



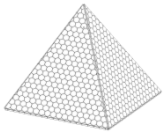
Projet schématique



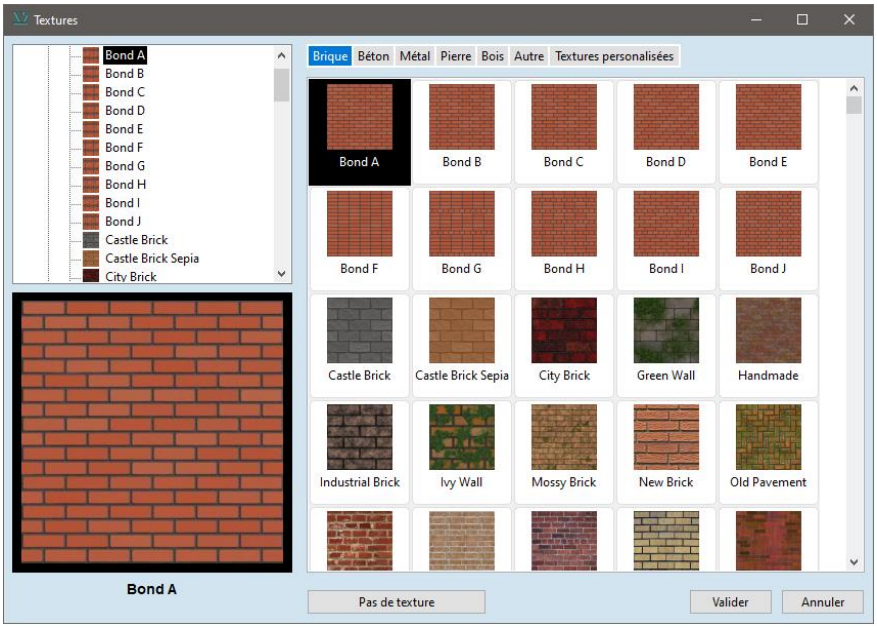
Projet architectural



Texture: Une vue rendue à l'aide de textures attribuées à des matériaux individuellement. Les textures peuvent être attribuées aux matériaux en cliquant sur le champ *Texture* dans le tableau des matériaux ou dans la base de données des matériaux et en choisissant une texture dans la bibliothèque des textures. Elle contient des textures prédéfinies et permet à l'utilisateur de définir également des textures personnalisées. Si plus d'une ligne est sélectionnée dans le tableau, la texture sera appliquée à tous les matériaux sélectionnés.



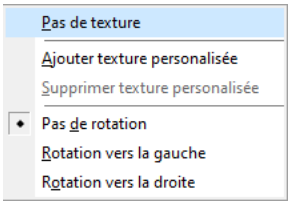
Aller dans *navigateur de tableaux* ligne *matériaux,* colonne *texture*



Les branches de l'arborescence à gauche et la liste horizontale au-dessus des vignettes de texture montrent les types de matériaux (brique, béton, métal, pierre, bois, autres). Le dernier type (personnalisé) concerne les textures définies par l'utilisateur. Les textures du type actuel sont affichées sous forme de vignettes. La texture sélectionnée apparaît dans la fenêtre de prévisualisation avec un cadre noir épais.

Menu contextuel

Après avoir cliqué sur la texture avec le bouton droit de la souris, un menu contextuel apparaît avec les fonctions suivantes :



Suppression de la texture du matériau
Définir ou supprimer une texture personnalisée
Paramètres de rotation

Pas de texture

Supprime la texture du matériau actuel

Ajouter une texture Personnalisée

Les bitmaps 24-bit True Color (JPG ou BMP) peuvent être convertis en textures de 64 x 64, 128 x 128 ou 256 x 256 pixels. Si le bitmap n'est pas rectangulaire, il sera recadré en un rectangle.

Supprimer une texture Personnalisée

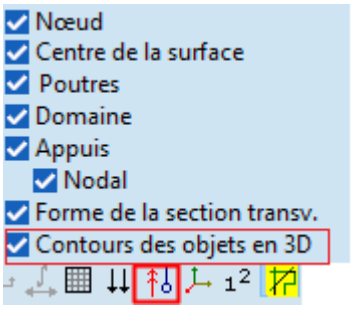
Les textures prédéfinies ne peuvent pas être supprimées de la bibliothèque, seule l'affectation peut être supprimée. Les textures définies par l'utilisateur dans la catégorie *Personnalisée* peuvent être supprimées.

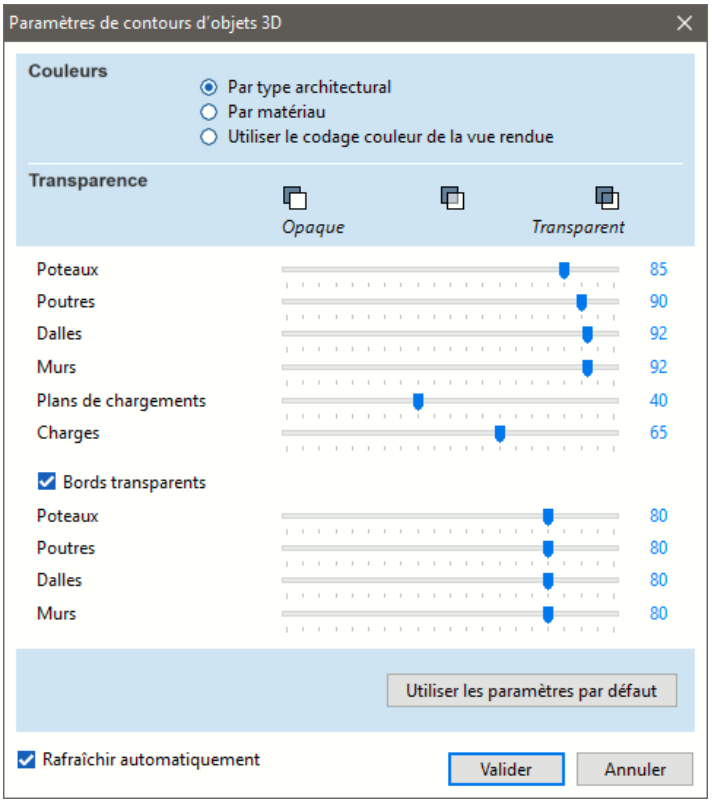
Paramètres de Rotation

Les textures sont mappées aux éléments selon leur système de coordonnées local. Cela peut parfois donner des résultats indésirables (par exemple dans le cas de murs en briques). La rotation des textures peut résoudre ces problèmes sans modifier le système local des éléments. Par défaut, les textures ne font pas l'objet d'une rotation. Les deux autres options sont Rotation à gauche et Rotation à droite, ce qui permet de faire pivoter le bitmap de 90°. La rotation est indiquée dans le tableau par un caractère < ou > apparaissant à la fin du nom de la texture.

Paramètres des contours des objets 3D

En activant l'affichage des contours des objets 3D (voir le bouton rapide ci-dessous), un modèle solide semi-transparent sera également affiché. La transparence des éléments peut être configurée dans Vue / Paramètres du contour de l'objet 3D.





Couleurs

Par type architectural — Le projet solide sera affiché en utilisant les couleurs attribuées aux murs, aux dalles, aux poutres, etc.
Voir... *3.3.11.3. Symboles graphiques*

Par matériau — Les couleurs attribuées au matériau seront utilisées.

Utiliser le codage couleur de la vue rendue — Les couleurs seront déterminées par le jeu de codes de couleur actuel pour la vue rendue.

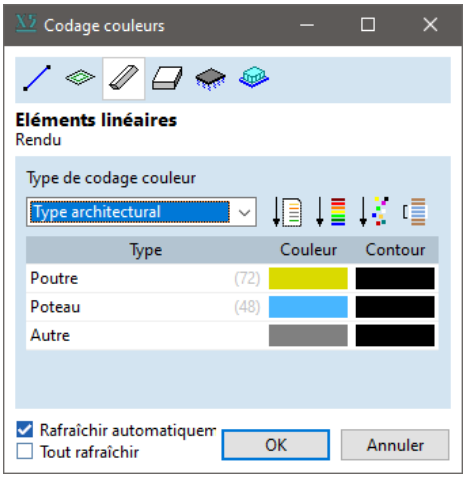
Transparence — Déplacez les curseurs pour régler la transparence souhaitée. Cliquez sur *Utiliser* les valeurs par défaut pour revenir aux valeurs par défaut. Cochez *Rafraîchissement automatique* pour voir les changements immédiatement sur la vue du projet.

Résultats affichés sur le modèle rendu. Si un composant de résultat est affiché avec le mode d'affichage Modèle solide (voir... *6.1 Statique*) les résultats coloreront le modèle rendu où les éléments sont affichés avec leurs dimensions physiques réelles. Pour les réglages, voir... *6.1*

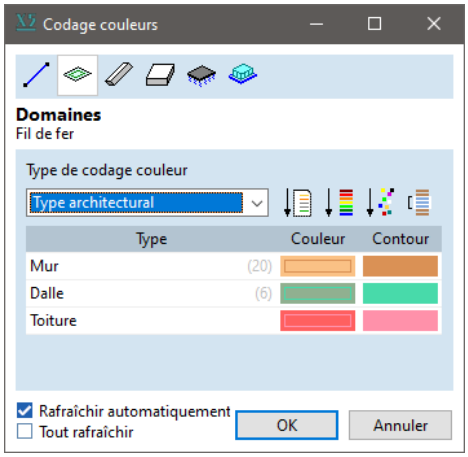
2.16.5. Codage couleur

Le codage couleur permet d'obtenir une vue d'ensemble des propriétés des éléments. Différents codes de couleur peuvent être définis pour les modes de rendu et d'affichage filaire.
Le type de codage couleur peut être choisi dans une liste déroulante.
Le programme associe automatiquement différentes couleurs à différentes propriétés, mais les couleurs peuvent être modifiées.

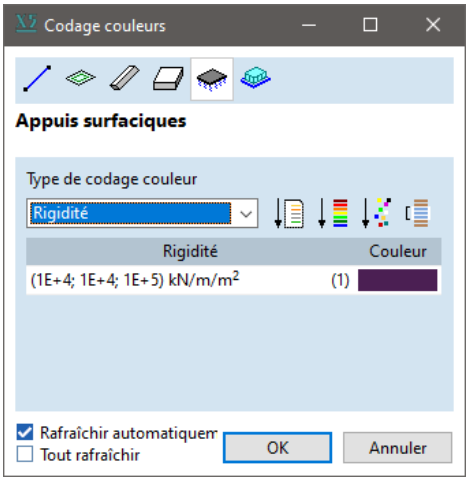
Éléments linéaires



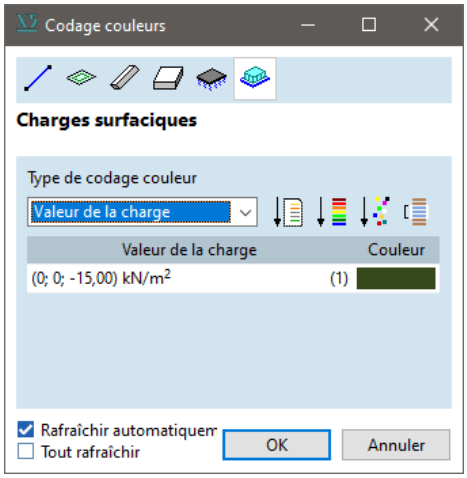
Domaines
Eléments Surfaciques



Appuis Surfaciques



Charges Surfaciques



Type de codage couleur

Par défaut	Utilise les couleurs par défaut.
Type d'élément	Le type d'élément fini (fermes -poutres - nervure pour les éléments linéaires, coque – plaque - membrane pour les domaines et les éléments surfacique) détermine la couleur de l'élément.
Type d'architecture	Le type d'architecture (poteau - poutre et divers pour les éléments linéaires, dalle – mur - toit pour les domaines) détermine la couleur des éléments.
Matériaux	Les couleurs des éléments sont attribuées par matériau
Épaisseur	Les couleurs des éléments sont attribuées en fonction de l'épaisseur du domaine
Section transversale	Les couleurs des éléments sont attribuées en fonction de la section transversale des éléments linéaires
Rigidité	Les couleurs des éléments sont attribuées en fonction de la rigidité de l'appui surfacique
Excentricité	Les couleurs des éléments sont attribuées en fonction de l'excentricité des nervures ou des domaines
Groupes d'excentricité	Les couleurs des éléments sont attribuées par groupes d'excentricité
Connexions d'extrémités	Les couleurs des éléments sont attribuées en fonction des connexions aux extrémités des poutres
Valeur de la charge	Les couleurs de la charge surfacique sont attribuées en fonction de l'intensité de la charge. Les zones où les polygones de chargement se chevauchent sont colorées en fonction de la somme des charges individuelles.

Valeurs des groupes de charge
Les couleurs des charges de surface sont attribuées par cas de charge et par intensité de charge.

Il s'agit d'un codage couleur spécial car il rend visibles toutes les charges des cas de charge dans le groupe de charge actuel. Cette option est utile pour vérifier les charges réparties dans des cas de charge séparés (voir... ... *6.1*) Bien que les charges de plusieurs cas de charge soient affichées, seules les charges du cas de charge actuel peuvent être sélectionnées, modifiées ou supprimées.

Uniforme
Une couleur uniforme pour tous les éléments

Réglage des Couleurs



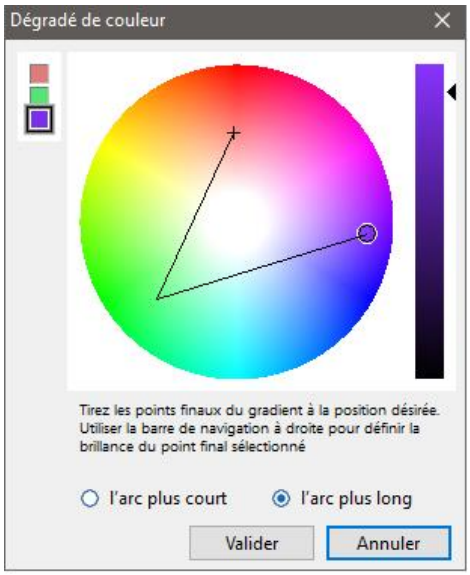
Cliquez sur n'importe quelle cellule de couleur pour changer la couleur.
Les boutons de la barre d'outils changent plus d'une cellule.



Par défaut
Restaure les valeurs par défaut (couleur par défaut du type d'élément, couleur par défaut du matériau).



Dégradé de couleur
Entrez la couleur de début et de fin du dégradé en faisant glisser les points d'extrémité de l'arc sur le cercle de teinte/saturation à la position souhaitée.
Le programme récupère le nombre de couleurs nécessaires entre les points d'extrémité.
Utilisez la barre de suivi sur la droite pour régler la luminosité pour le point final sélectionné.
Un arc plus court relie les couleurs avec le plus petit changement de teinte possible. Un *arc plus long* contourne le cercle de teinte dans l'autre sens (plus long).





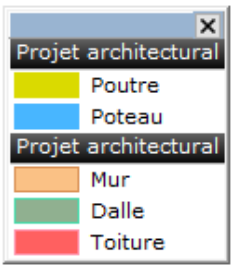
Couleurs aléatoires
Le programme sélectionne des couleurs au hasard mais s'assure que les couleurs ne sont pas trop proches.



Définir une couleur commune
En appuyant sur la touche "[Maj]" avant de cliquer, vous pouvez sélectionner une gamme de cellules de couleur. Les cellules de couleur sélectionnées apparaissent avec un épais contour noir. Cet outil permet d'attribuer la même couleur aux cellules sélectionnées.

☞ **Les couleurs rendues et les couleurs filaires sont traitées séparément mais peuvent être synchronisées. En cliquant avec le bouton droit de la souris sur la liste des couleurs, un menu contextuel apparaît. Sélectionnez** *Appliquer les couleurs assignées à la vue rendue (Vue en fil de fer)* **pour importer l'ensemble des couleurs de l'autre mode d'affichage.**

Le codage couleur actuel est affiché dans une fenêtre d'information séparée. Vous pouvez activer et désactiver cette fenêtre à partir du menu principal *(Fenêtre / Codage couleur)*



Rafraîchir
Les vues sont automatiquement mises à jour après les changements.

automatiquement

Tout rafraîchir Applique les changements à tous les points de vue. Si la case n'est pas cochée, seule la vue active est modifiée.

2.16.6. Transformations géométriques sur les objets



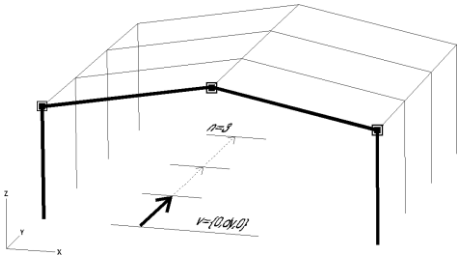


2.16.6.1. Translater / Copier

Translater / Copier



Effectue des copies multiples ou déplace les entités géométriques sélectionnées ou les charges, par translation le long d'un vecteur. Vous devez spécifier le vecteur de translation (dX, dY, dZ), et le nombre de copies (*N*).

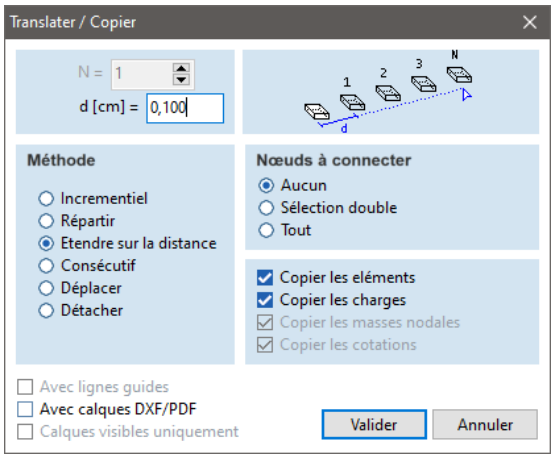


Méthode

Incrémentiel: fait *N* copies des entités sélectionnées par la distance *dX, dY, dZ*.

Répartir: fait *N* copies des entités sélectionnées sur la distance *dX, dY, dZ* (par incréments de *dX/N, dY/N, dZ/N*).

Étendre sur distance : effectue des copies des entités sélectionnées séparées par la distance *d dans la* direction du vecteur de translation. Le nombre de copies dépend du nombre de copies qui s'inscriront dans la longueur définie par le vecteur de translation *dX, dY, dZ*.



Consécutif : fait *N* copies consécutives des entités sélectionnées selon des distances différentes *dX, dY, dZ*.

Déplacer : déplace les entités sélectionnées de la distance *dX, dY, dZ*. Les lignes passant par les nœuds déplacés restent connectées.

Détacher : déplace les entités sélectionnées de la distance *dX, dY, dZ*. Les lignes passant par les nœuds déplacés sont détachées.

Aucun : Aucun nœud ne sera connecté.

Sélection double : En maintenant la touche **[Alt]** enfoncée, vous pouvez doubler la sélection des nœuds. Ces nœuds seront connectés.

Tout : Tous les nœuds à copier seront connectés.

Cases à cocher

Options de copie

Copier les éléments : Vous pouvez également spécifier les éléments finis attribués aux entités géométriques à copier.

Copie les charges : Vous pouvez également spécifier les charges affectées aux entités géométriques à copier.

☞ **Les chargements peuvent être copiés séparément (sans les éléments).**

Copier les masses nodales : Vous pouvez également spécifier les masses nodales des entités géométriques à copier.

Copiez les symboles de cotations : Les symboles de cotations ne seront copiés que si les nœuds auxquels elles sont affectées sont sélectionnés.

Avec lignes guides Toutes les règles seront également déplacées (utile pour déplacer le projet entier).

Avec calques DXF / PDF Si cette option est cochée, les transformations seront également effectuées sur les objets du calque DXF. Si des éléments individuels du calque sont sélectionnés, la transformation sera appliquée uniquement aux éléments sélectionnés. Si rien n'est sélectionné, le calque entier sera copié

Calques visibles uniquement Si cette option est cochée, seuls les calques visibles seront transformés.

Étapes de la translation La translation comprend les étapes suivantes :

1. cliquez sur l'icône Translater
2. sélectionner les entités ou les chargements à copier
   Cliquez sur **VALIDER** dans la fenêtre de sélection (ou sur Annuler pour interrompre les commandes de sélection et de translation)
   Sélectionnez vos options dans la fenêtre de translation.
5. cliquez sur **VALIDER**
6. spécifier le vecteur de translation par son point de départ et son point d'arrivée

La commande peut également être appliquée dans la séquence 2-3-1-4-5-6.

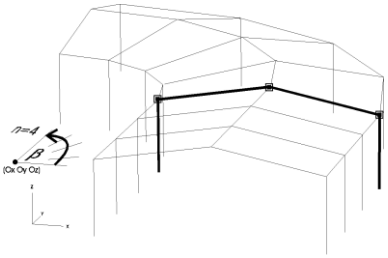
☞ **Si votre projet comporte des parties répétitives, vous devez d'abord les créer (y compris la définition des éléments finis, les conditions d'appui, les charges et les cotations), puis en faire des copies.**
Vous pouvez utiliser n'importe quel point existant lorsque vous devez spécifier le vecteur de translation.
Les charges sélectionnées peuvent être copiées ou déplacées vers un autre cas de charge si le cas de charge est changé en cas de charge cible au cours de l'opération.

2.16.6.2. Faire tourner

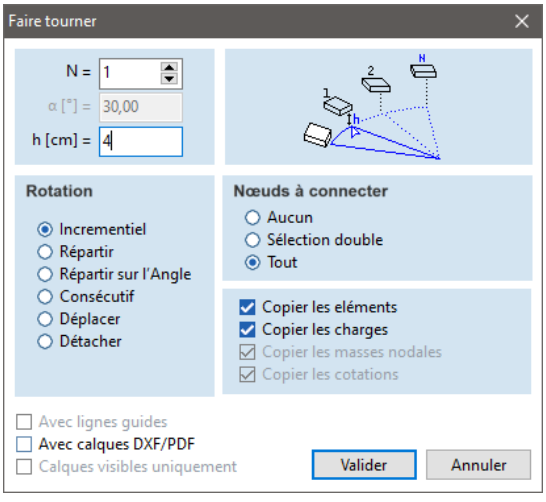
Faire tourner



Effectue des copies multiples ou déplace les entités géométriques ou les charges sélectionnées, par rotation autour d'un centre. Dans les vues X-Y, X-Z ou Y-Z, l'axe de rotation est normal par rapport au plan de vue actuel. Dans les vues personnelles, l'axe de rotation est toujours l'axe Z.



Vous pouvez spécifier la méthode de rotation. Les paramètres dépendent de la méthode : l'angle de rotation *α* le nombre de copies *(N)* et une translation supplémentaire *h le* long de l'axe de rotation (chaque copie sera décalée de cette distance).
Cliquez sur le centre de rotation (OX, OY, OZ), le point de départ de l'arc de rotation et tracez l'angle du curseur.



Options de rotation

Incrémentiel : fait *N* copies des entités sélectionnées par l'angle du curseur.

Répartir : fait *N* copies des entités sélectionnées par angle de curseur/N incréments.

Répartir sur l'angle : fait des copies des entités sélectionnées réparties selon un angle donné spécifié dans la case de dialogue. Le nombre de copies dépend du nombre de copies qui entreront dans l'angle du curseur.

Consécutif : fait *N* copies *consécutives* des entités sélectionnées à différents angles du curseur.

Déplacer : déplace les entités sélectionnées en fonction de l'angle du curseur. Les lignes passant par les nœuds déplacés restent connectées.

Détacher : déplace les entités sélectionnées en fonction de l'angle du curseur. Les lignes passant par les nœuds déplacés sont détachées.

Nœuds à connecter

Voir... *2.16.6.1 Translater / Copier*

Case à cochers

Voir... *2.16.6.1 Translater / Copier*

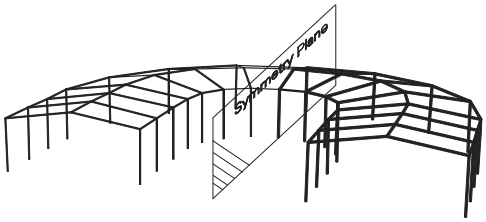
En perspective, le point central, le point de départ et le point d'arrivée peuvent être spécifiés uniquement en utilisant des points existants ou d'autres emplacements 3D identifiés (c'est-à-dire un point sur une ligne). En perspective, l'angle du curseur est déterminé par les coordonnées globales X et Y uniquement.

2.16.6.3. Miroir

Miroir



Effectue une copie ou déplace les entités géométriques sélectionnées ou les charges, par mise en miroir. Spécifier deux points du plan de symétrie. Le plan de symétrie est toujours parallèle à un axe global, selon la vue dans laquelle vous vous trouvez.



Options miroir

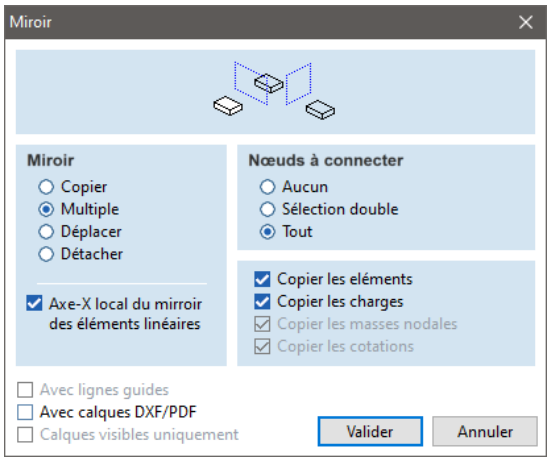
Copier : reflète une copie des entités sélectionnées au-dessus du plan miroir.

Multiple : fait des copies consécutives des entités sélectionnées sur différents plans miroirs.

Déplacer : déplace les entités sélectionnées à travers le plan miroir. Les lignes passant par les nœuds déplacés restent connectées.

Détacher : déplace les entités sélectionnées à travers le plan miroir. Les lignes passant par les nœuds déplacés sont détachées.

Axe X local du miroir des éléments linéaires : Cette option permet de contrôler si l'orientation x locale des éléments linéaires en miroir sera inversée ou non.



Nœuds à connecter

Voir... *2.16.6.1 Translater / Copier*

Case à cochers

Voir... *2.16.6.1 Translater / Copier*

En perspective, la mise en miroir n'est possible que sur un plan parallèle à l' axe Z global.

2.16.6.4. Échelle

Échelle



Effectue des copies multiples ou déplace les entités géométriques sélectionnées, en les mettant à l'échelle à partir d'un centre. Vous devez spécifier le centre de mise à l'échelle, un point de référence et sa nouvelle position après la mise à l'échelle (les rapports de coordonnées détermineront les facteurs d'échelle).

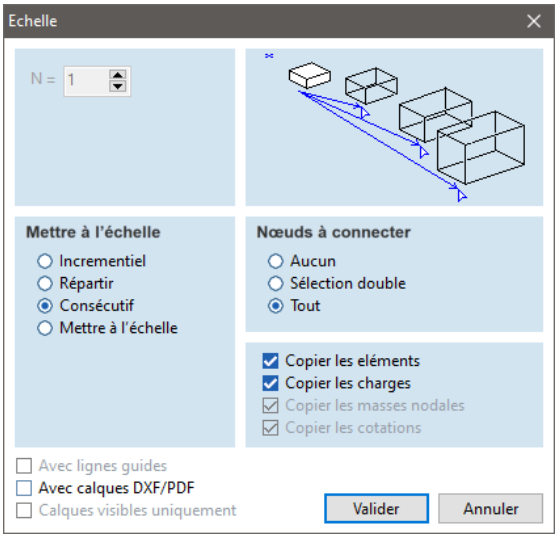
Options d'échelle

Incrémentiel : fait N copies à l'échelle des entités sélectionnées en répétant N fois la mise à l'échelle.

Répartir : distribue N copies à l'échelle des entités sélectionnées entre l'original et l'image à l'échelle.

Consécutif : fait des copies à différentes échelles des entités sélectionnées en plusieurs étapes consécutives.

Mettre à l'échelle : redéfinit les entités sélectionnées par une mise à l'échelle**.**



Nœuds à connecter Voir... *2.16.6.1 Translater / Copier*

Case à cochers Voir... *2.16.6.1 Translater / Copier*

2.16.7. Plans de travail



Les plans de travail (systèmes de coordonnées de l'utilisateur) permettent de dessiner plus facilement sur des plans obliques. Imaginez un trou pour une lucarne sur un plan oblique d'un toit. Le plan du toit peut servir de plan de travail, ce qui permet de dessiner en deux dimensions. Dans le cas des plans de travail, la coordonnée altitudinale signifie la distance le long de l'axe normal au plan de travail.

☞ **Toutes les fonctions de dessin/édition sont disponibles en mode plan de travail.**
En utilisant le mode multifenêtre, un plan de travail différent peut être défini pour chaque fenêtre.

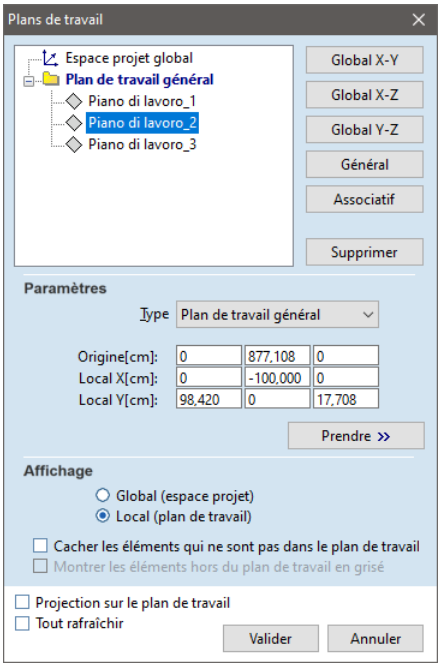
Global X-Y, Global X-Z, Global Y-Z Ces plans de travail sont parallèles à un plan de coordonnées global, de sorte que leur position est définie par une seule coordonnée. Utile pour dessiner les étages d'un bâtiment.

Général Les plans de travail généraux l sont définis par une origine et deux vecteurs pour les axes locaux *x* et *y*.

Intelligent Les plans de travail intelligent suivent le système local d'une ferme, d'une poutre, d'une nervure ou d'un domaine. L'origine est le premier point de l'élément, les axes locaux *x* et *y* sont parallèles aux axes locaux *x* et *y du* système local de l'élément.

☞ **En changeant le système local de l'élément fini, le plan de travail associé change également. En supprimant l'élément fini, vous supprimez également le plan de travail.**

En cliquant sur le bouton rapide du plan de travail (en bas à droite) , le plan de travail peut être sélectionné dans une liste. Les plans de travail sont également disponibles dans le menu principal en sélectionnant *Vue \ Plans de travail* ou dans le menu contextuel en sélectionnant *Plans de travail.*



Options d'affichage Un plan de travail peut être affiché dans le système de coordonnées global ou dans son système local. Après avoir coché *Cacher les éléments qui ne* sont *pas dans le plan de travail,* seuls les éléments qui sont dans le plan de travail sont affichés. Après avoir coché *Montrer les éléments hors du plan de travail en grisé,* les éléments hors du plan de travail apparaissent en grisé.

Modification des paramètres du plan de travail

Si vous sélectionnez un plan de travail dans l'arbre, ses paramètres sont affichés. En les modifiant et en cliquant sur le bouton **Valider** ou en sélectionnant un autre plan de travail, vous modifiez les paramètres du plan de travail sélectionné.

Supprimer

Supprime les plans de travail définis par l'utilisateur.

Prendre >>

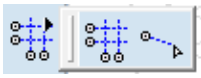
Permet de définir graphiquement les paramètres du plan de travail (origine ou axes).

Projection sur le plan de travail

Si cette option est activée, toutes les modifications seront projetées sur le plan de travail. Pour travailler dans le système de coordonnées du plan de travail mais hors du plan de travail (par exemple, en réglant z à 3 mètres), désactivez cette option.

2.16.8. Trames structurelles

Deux boutons sortent du bouton de la barre d'icônes. Le premier permet de définir une grille structurelle, et le second permet de définir des lignes de grille individuelles.

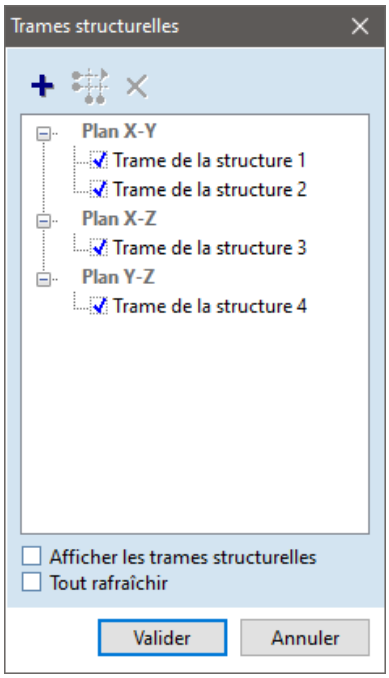


Pour définir une trame structurelle, définissez une origine *X0, Y0* ou *Z0,* puis entrez les valeurs d'espacement relatives *ΔX, ΔY* ou *ΔZ*. Par exemple, si *X0* = 0, en entrant 4*3,5 ; 2*5 ; 7,5 dans le champ ΔX, les lignes de la trame apparaîtront aux positions X suivantes : 3.50 ; 7.00 ; 10.50 ; 14.00 ; 19.00 ; 24.00 ; 31.50.
La trame structurelle peut être tournée selon un angleα personnalisé.
La longueur des lignes est déterminée par les positions minimales et maximales des coordonnées des lignes de la trame dans l'autre direction, de sorte que la forme de la trame soit toujours un rectangle.



Trames structurelles





Les trames structurelles sont des ensembles linéaires colorées dans un plan commun, avec une longueur donnée et une annotation aidant le processus de construction du projet. Ces ensembles de trames peuvent être parallèles aux plans globaux X-Y, X-Z ou Y-Z, aux plans de travail ou aux étages.
Les trames structurelles sont affichées dans un arbre, organisé par le plan de la trame.

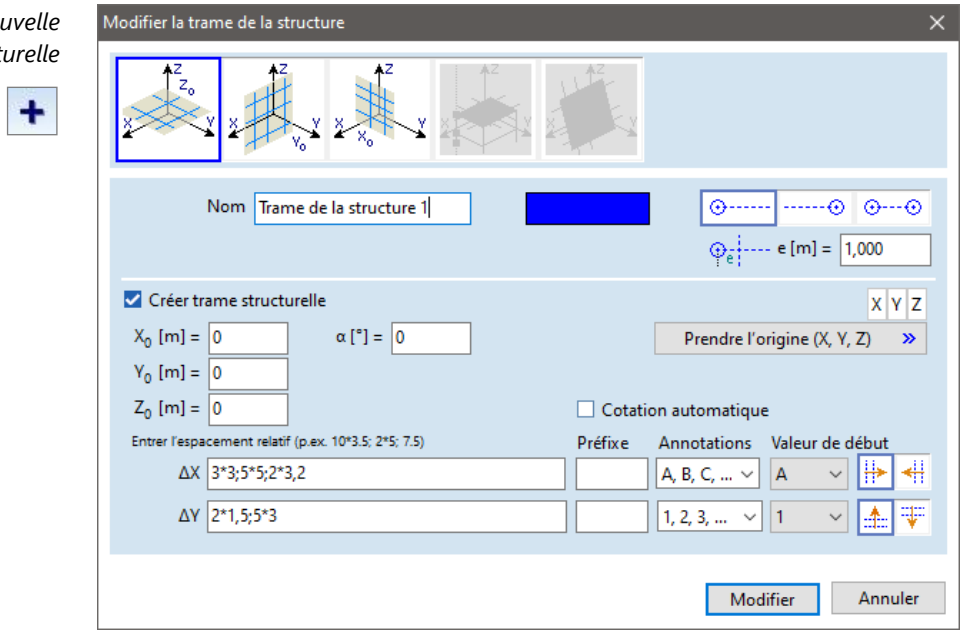
Afficher les trames structurelles

Activation/désactivation de l'affichage des trames structurelles dans le projet.
Si elle est éteinte, toutes les trames disparaissent.
Si elle est activée, toutes les trames correspondant aux deux critères suivants seront affichées : 1) il est coché 2) la règle associée à la trame permet l'affichage de la trame. Les trames associées aux plans de travail et aux étages peuvent se cacher si leur plan de travail ou leur étage n'est pas actif.

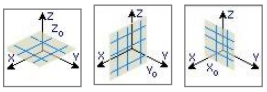
Tout rafraîchir

Mettre à jour les trames structurelles pour toutes les vues.

Nouvelle trame structurelle



Plan de trame



Pour les trames parallèles à un plan global, la distance *X0, Y0* ou *Z0* entre le plan de la trame et le plan global peut être définie



Trame d'étage

Si le projet comporte des étages, différentes trames structurelles peuvent être attribuées à chaque étage. La trame peut être associée à tous les étages en sélectionnant "*Sur tous les étages*" *dans* la liste déroulante. Si la trame est associée à un étage spécifique (par exemple, l'étage 1) et que l'option *Afficher seulement si l'étage est actif est* cochée, la trame reste cachée jusqu'à ce que l'étage 1 soit activé.



Trame des plans de travail

Les trames structurelles peuvent être affectées à des plans de travail (s'il y a des plans de travail dans le projet). Si la case *Afficher uniquement si le plan de travail est actif est* cochée, la trame reste cachée jusqu'à ce que le plan de travail soit activé.

Nom Nom de la trame structurelle

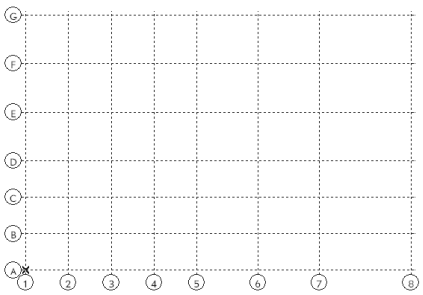
Couleur Cliquez sur le bouton pour changer la couleur des lignes de quadrillage.

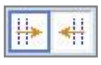
X0 / Y0 / Z0 [m] Origine de la trame structurelle par rapport à l'origine globale.
L'origine peut être récupérée en cliquant sur le bouton "Prendre *l'origine*" et en cliquant sur n'importe quel endroit du projet. En activant ou en désactivant les champs *X, Y, Z* au-dessus du bouton, l'utilisateur peut contrôler les coordonnées à relever.

α[°] Angle de rotation autour de l'origine de la trame structurelle

Créer une trame structurelle Les espaces entre les trames, les préfixes, les annotations, les directions peuvent être définis.

Les annotations de la trame peuvent être des chiffres (1, 2, 3, ...) ou des lettres (A, B, C, ...) consécutifs selon les listes déroulantes des *annotations*. La *valeur de départ* définit la première annotation. Un préfixe commun peut être défini pour créer des annotations comme 1A, 1B, 1C, ... ou F1, F2, F3. L'ordre des lignes de la trame peut être défini en sélectionnant l'une des icônes (de gauche à droite, de droite à gauche dans le sens X et de bas en haut, de haut en bas dans le sens Y).





Ordre de création des lignes de la trame verticale

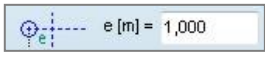


Ordre de création des lignes de la trame horizontale



Les annotations peuvent être positionnées au point de départ, au point d'arrivée ou aux deux.

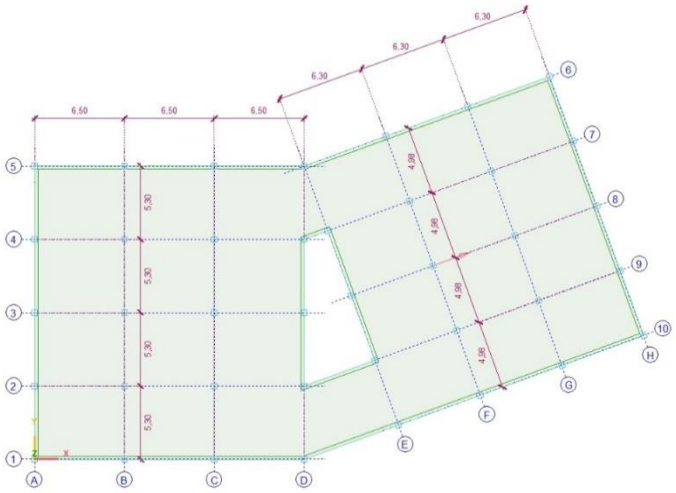
e[m]



Il est recommandé de fixer une extension linéaire de quadrillage non nulle de sorte que les annotations tombent en dehors du rectangle des lignes de quadrillage

Cotation automatique

Si l'option *Cotation automatique* est cochée, des lignes de cotation sont également créées avec les lignes de trame structurelles. Ces lignes de cotation sont associatives, par exemple pour suivre les changements de la trame structurelle.
Il est également possible de placer manuellement des lignes de côtes intelligentes entre les points d'intersection des trames structurelles (voir... *2.16.11.1. Cotation orthogonale*). Cela signifie que l'activation du mode intelligent et le placement d'une ligne de côtes entre A1 et G1 générera un groupe linéaire de côtes : A1-B1, B1-C1, C1-D1, D1-E1, E1-F1, F1-G1.



Modifier la trame structurelle



Le nom, les annotations, les positions, la couleur d'une trame peuvent être modifiés. Si la case *Créer trame structurelle* est cochée, la trame entière sera recréée avec les nouveaux paramètres. Dans ce cas, toutes les trames personnalisées associées à la trame (voir ci-dessous) seront supprimées.

Copier la trame structurelle



Les copies seront faites à partir de la grille sélectionnée.
Saisissez une racine pour générer les noms des copies. Les copies seront nommées comme racine_1, racine_2, racine_3...
Saisissez le nombre de copies souhaité, le point de départ et le point d'arrivée du vecteur de translation.

Supprimer la trame structurelle

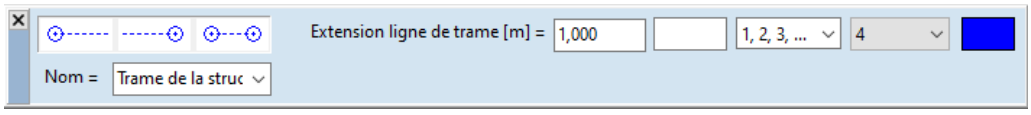


Les trames structurelles sélectionnées seront supprimées.
En appuyant sur **Ctrl** ou **[Maj]** pendant les clics de souris, plusieurs trames peuvent être sélectionnées.



Lignes de quadrillage personnalisées

Des trames personnalisées peuvent également être définies en cliquant sur le point de départ et le point d'arrivée. Les propriétés de la trame (position de l'annotation, extension, préfixe, annotations, couleur) peuvent être définies sur une palette de dialogue rapide
Les lignes de trame personnalisées doivent être associées à une trame structurelle et peuvent être activées / désactivées avec cette trame. La nouvelle création de la trame avec de nouveaux paramètres supprime toutes les lignes de trames personnalisées associées.

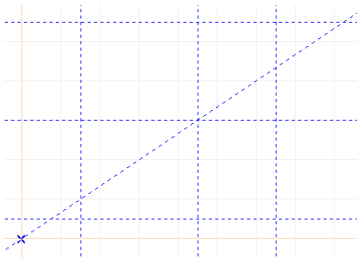


2.16.9. Lignes guides



Aide à l'édition de la géométrie du projet. Des lignes guides peuvent être définies dans le système de coordonnées global. De cette façon, une trame arbitraire peut être créée, les intersections peuvent être déterminées et les distances peuvent être fixées. Le curseur identifie les lignes guides.
Voir... *4.7. Outils d'édition*

Les lignes guides sont affichées sous forme de tirets bleus. L'affichage des lignes guides peut être activé ou désactivé dans le menu (ou l'icône) "Options d'affichage" "Case à cochers".





Place une ligne guide verticale à la position actuelle du curseur.



Place une ligne guide horizontale à la position actuelle du curseur.



Place une ligne guide verticale et une ligne guide horizontale à la position actuelle du curseur.



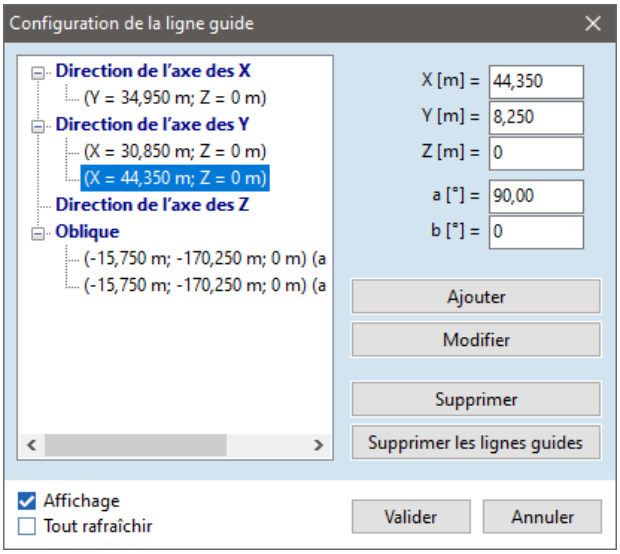
Place une ligne de guidage oblique à la position actuelle du curseur.

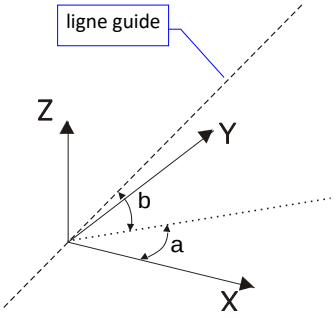


Place une paire linéaires guides obliques orthogonales à la position actuelle du curseur.

En perspective, toutes les lignes guides sont affichées mais seules les lignes guides obliques peuvent être placées. Vous pouvez modifier la position d'une ligne guide avec la souris en la faisant glisser vers une nouvelle position. Vous pouvez supprimer (effacer) une ligne guide en la faisant glisser hors de la zone graphique.

Les lignes guides peuvent être entrées numériquement par coordonnées. En cliquant avec la souris sur une ligne guide ou en sélectionnant la commande *Paramètres / Paramétrages des lignes guides dans* le menu principal, la boîte de dialogue suivante s'affiche:





a: est l'angle de projection de la ligne guide sur le plan X-Y et l'axe X.

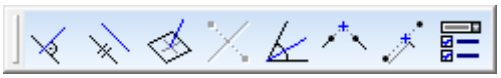
b: est l'angle de la ligne guide et sa projection sur le plan X-Y.

Affichage Activation / désactivation de l'affichage des lignes guides.

Tout rafraîchir Si la case est cochée, les modifications seront appliquées à toutes les vues, sinon uniquement à la vue active.

2.16.10. Outils de géométrie

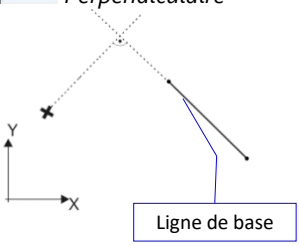




Les icônes des **outils de géométrie** Cette commande vous permettent de verrouiller le sens du tracé d'une ligne.

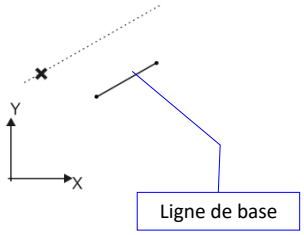


Perpendiculaire





Parallèle



Commencez à tracer une ligne. Cliquez sur l'icône *Perpendiculaire* ou *Parallèle* puis sur une ligne existante ou sur deux points pour définir la direction. Le curseur se déplacera perpendiculairement ou parallèlement à cette ligne de base.



Perpendiculaire à un plan

Commencez à tracer une ligne. Cliquez sur l'icône *Perpendiculaire à un plan,* puis sur le domaine définissant le plan. Le curseur se déplacera perpendiculairement au plan. Le plan peut également être défini en cliquant sur trois points.

Ces icônes peuvent être utilisées de manière pratique lors de l'édition de la géométrie du projet ou de la définition des plans de coupe.



Ligne passant par un point médian

Commencez à tracer une ligne, puis cliquez sur le point de départ et le point d'arrivée d'une autre ligne. Le point médian déterminera la direction.



Bissectrice

Commencez à tracer une ligne puis cliquez sur les deux cotés d'un angle. La bissectrice déterminera la direction de la ligne.



Point d'intersection de 2 lignes

Commencez à dessiner un nœud ou une ligne puis cliquez sur l'icône, cliquez sur les deux lignes ou leur point de départ et d'arrivée. Un point de nœud ou linéaire est créé au point d'intersection. N'importe laquelle des lignes (ou les deux) peut être un arc. Dans ce cas, il peut y avoir plus d'un point d'intersection. Si c'est le cas, les points calculés sont marqués de petits cercles. Le point requis doit être sélectionné en cliquant.



Point de division

Commencez à dessiner un nœud ou une ligne, puis cliquez sur l'icône et cliquez sur les deux nœuds. Spécifiez la division par rapport ou par distance dans la boîte de dialogue qui s'affiche. Un point nodal ou une ligne est créé.



Opération à contrainte ponctuelle

L'action pour *Point d'intersection* et *Point de division* peut être définie ici. Deux options sont disponibles: créer un nouveau nœud ou déplacer l'origine relative à la position calculée.

2.16.11. Cotations, symboles et annotations



Ce groupe de fonctions Cette commande vous permet d'assigner des cotations associatives orthogonales et alignées ou des chaînes de cotations au projet tridimensionnel, ainsi que des marques d'angle, de longueur d'arc, de rayon d'arc, de niveau et d'élévation, des annotations pour les valeurs de résultat. Cliquez sur l'icône Cotation pour afficher la barre d'outils des dimensions. Cela Cette commande vous permettra de sélectionner l'outil de dimension approprié. Cliquez sur l'icône en bas à gauche de la barre d'outils des dimensions pour définir les paramètres de l'outil sélectionné.



Vous pouvez modifier la position des cotations ou des annotations à tout moment en les faisant glisser vers leur nouvelle position. Si les cotations ont été associées au projet, leur position et leur dimension seront continuellement mises à jour à mesure que vous modifiez la géométrie du projet.

2.16.11.1. Cotation orthogonale



Des cotations orthogonales associatives ou des chaînes de cotations, parallèles aux axes globaux X, Y ou Z peuvent être attribuées au projet en suivant les étapes suivantes:

1. Cliquez sur le point de départ de la cotation et sur le point d'arrivée. Si ces points sont reliés par une ligne, vous pouvez simplement cliquer sur la ligne.



2. Déplacez la souris. La position de la cotation dépend de la direction dans laquelle vous avez déplacé la souris. Il y a une exception: lorsque le segment n'est parallèle à aucun plan global et que l'édition se fait en vue de perspective. Dans ce cas, vous devez sélectionner la direction dX, dY ou dZ dans la barre d'outils.

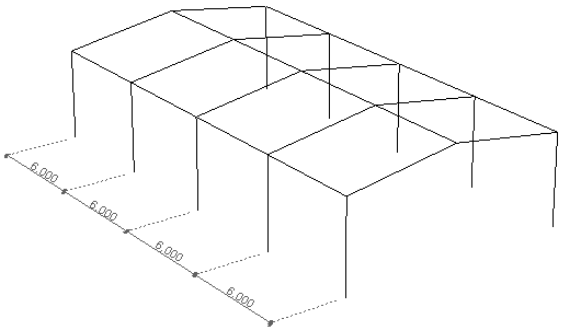
   Cliquez sur le bouton gauche de la souris pour définir la position finale de la cotation.

Pour insérer une chaîne de cotations, cliquez sur les points dans l'ordre correspondant ou sur les lignes s'il y en a. Les étapes 2 et 3 sont les mêmes que pour les cotations individuelles. Une chaîne de cotations peut être sélectionnée en une seule fois si vous cliquez sur l'une d'entre elles tout en appuyant sur la touche [Maj]. Cela Cette commande vous permet de la déplacer en tant que groupe. Pour modifier la position d'un segment de groupe, sélectionnez-le individuellement à l'aide du rectangle de sélection et faites-le glisser jusqu'à sa nouvelle position. En conséquence, cette cotation sera retirée du groupe (elle peut être déplacée individuellement).



Cotations intelligentes

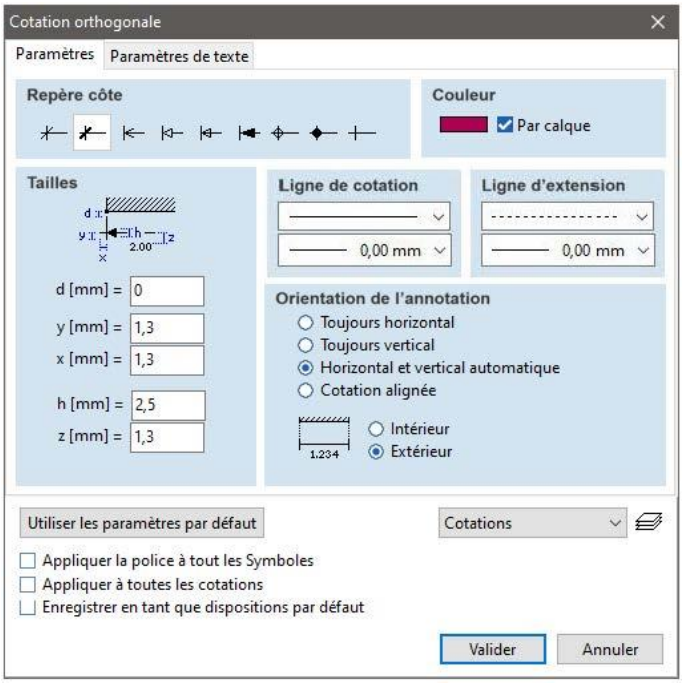
Une série de cotations peut également être créée en activant les cotations intelligentes. Si vous activez cette fonction en appuyant sur le bouton, vous devez sélectionner uniquement les points d'extrémité de la chaîne, en supposant que les points d'intermédiation n'ont pas été générés par une commande de maillage de domaine. Toutes les cotations intermédiaires seront créées automatiquement.



Un exemple de cotations intelligentes

Si la cotation est assignée aux points d'un projet, elle se comportera toujours de manière associative (par exemple, elle se déplacera avec le projet lorsque celui-ci est modifié ou redimensionné ou déplacé).

Paramètres des cotations orthogonales et alignées



Repère côte Cela Cette commande vous permet de choisir le repère de cotations. Vous pouvez choisir parmi neuf symboles prédéfinis.

Couleur Permet de définir individuellement la couleur des cotations. Vous pouvez obtenir la couleur à partir du calque active. Les cotations, les marques et les textes sont placés par défaut sur le calque Dimensions, mais vous pouvez la modifier à tout moment.

Tailles Cela Cette commande vous permet de définir les paramètres de dessin de la ligne de cote.

Ligne de cotation/ligne d'extension Cela Cette commande vous permet de définir le type et l'épaisseur d'une ligne de cotation ou d'une ligne d'extension. Vous pouvez choisir une valeur prédéfinie ou l'obtenir dans le calque active. Vous pouvez activer/désactiver l'affichage des lignes d'extension

Orientation de l'annotation Cela Cette commande vous permet de définir l'orientation des annotations des lignes de cotes *(Toujours horizontale, Toujours verticale, Horizontale et verticale automatique* ou *Alignée à la ligne de cotation) à* l'intérieur ou à l'extérieur de la ligne de côte.

Utiliser les valeurs par défaut Cela Cette commande vous permet de rétablir le paramètre par défaut.

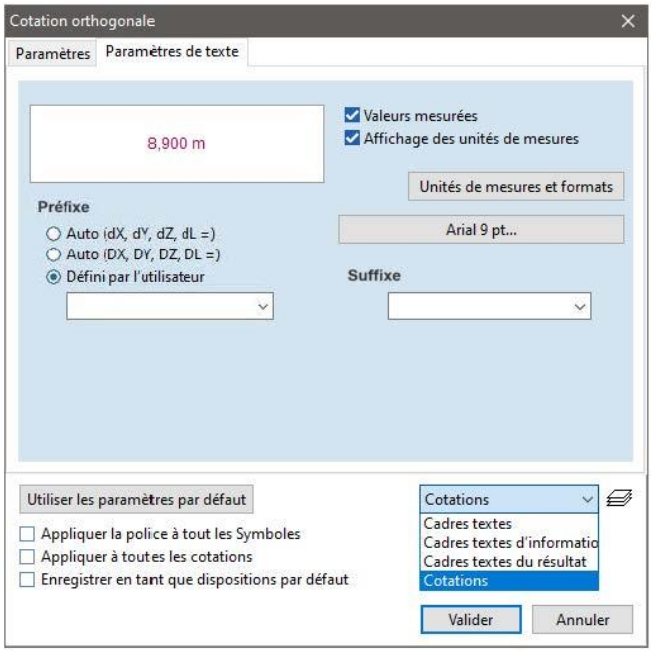
Appliquer la police à tout les symboles Appliquez la même police à chaque cotation.

Enregistrer en tant que dispositions par défaut Permet d'enregistrer le paramètre actuel comme paramètre par défaut.

Appliquer à toutes les cotations Applique le réglage actuel à toutes les cotations orthogonales ou alignées existantes afin de garantir un aspect uniforme.

Calques Permet de sélectionner/définir/fixer les calques où seront placées les cotations. Si aucun calque n'est défini lorsque vous commencez à définir les cotations, un calque cotation sera automatiquement créé.
Voir... *3.3.3. Gestionnaire de calques*

Paramètres du texte



Cette commande vous permet de définir les paramètres du texte des cotations.

Valeur mesurée Cette commande vous permet de placer la valeur mesurée sur la cotation, en utilisant les paramètres actuels de préfixe et de suffixe. En cliquant sur le bouton Unités et formats, le format des nombres peut être défini dans la section transversale Cotation de la boîte de dialogue *Paramètres / Unités et formats.*

Affichage de l'unité de mesure Affichage de l'unité de la valeur de mesure.

Unités de mesure et formats... Pour modifier les paramètres de la police actuelle, cliquez sur le bouton situé sous le bouton *Unités et formats...*

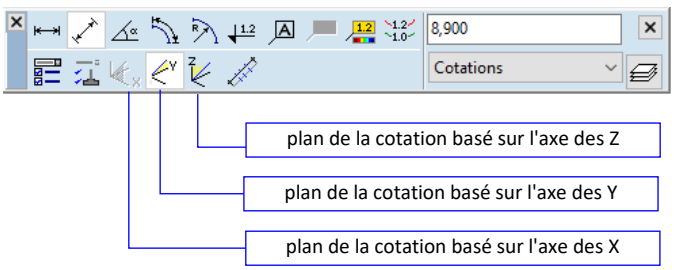
Préfixe Définit le préfixe utilisé avec le texte sur les cotations. Vous pouvez choisir parmi les options suivantes :

Auto (dX, dY, dZ, dL = [selon la direction])
Auto (DX, DY, DZ, DL = [selon la direction])
Défini par l'utilisateur (cette option vous demandera d'entrer le préfixe).

Suffixe Définit le suffixe utilisé avec le texte sur les cotations.

2.16.11.2. Cotation alignée

Affecte au projet des cotations alignées ou une série de cotations.



Les étapes sont les mêmes que celles de la création d'une cotation orthogonale.
Voir... *2.16.11.2. Cotation alignée*
Le plan de la cotation parallèle est déterminé automatiquement. Il y a une exception : lorsque le segment n'est parallèle à aucun plan global et que l'édition se fait dans la vue en perspective. Dans ce cas, vous devez sélectionner la direction X, Y ou Z dans la barre d'outils. Le plan de la ligne de coupe sera défini par le segment et l'axe global sélectionné.

Définit les paramètres de la cotation. Voir... *2.16.11.1. Cotation* .
Pour les cotations alignées, le préfixe automatique est toujours dL= ou DL=.

Un exemple de cotations associatives (orthogonales et alignées) :



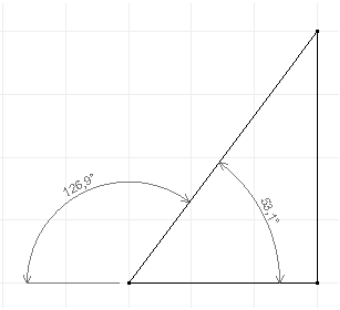
Avant la commande Echelle *Après la commande Echelle*

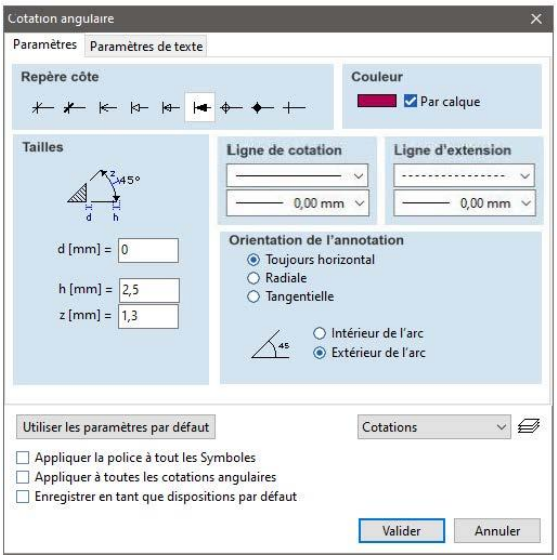
2.16.11.3. Cotation angulaire

Les cotations d'angle associatives, en tant que symbole de l'angle entre deux segments, peuvent être attribuées au projet dans les étapes suivantes :

1. Cliquez sur le point de départ et sur le point d'arrivée du premier segment. Si les points sont reliés par une ligne, vous pouvez simplement cliquer sur la ligne.
2. Cliquez sur le point de départ et sur le point d'arrivée du deuxième segment. Si les points sont reliés par une ligne, vous pouvez simplement cliquer sur la ligne.
3. Déplacez la souris. La position et le rayon de la cotation angulaire seront déterminés par le mouvement de la souris. En fonction de la position de la souris, l'angle, l'angle supplémentaire ou la cotation angulaire complémentaire peuvent être saisis.

   Cliquez sur le bouton gauche de la souris pour fixer la cotation angulaire dans sa position finale.



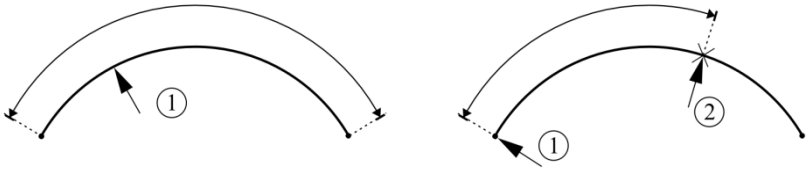


En cliquant sur le bouton *Paramètres de texte / Unités et formats...* le format du numéro d'angle peut être défini dans la section transversale Cotation de la boîte de dialogue *Paramètres / Unités et formats.*

2.16.11.4. Longueur de l'arc



Crée des cotations de longueur d'arc dans votre projet.
Pour attribuer cette cotation à un cercle complet, cliquez sur n'importe quel point du cercle et faites glisser la ligne de cotation.
Pour coter un arc, cliquez sur n'importe quel point de l'arc et faites glisser la ligne de cotation
Pour coter une partie d'un arc, cliquez sur un point quelconque de l'arc, cliquez sur le point central de l'arc et faites glisser la ligne de cotation



2.16.11.5. Rayon de l'arc



Crée des cotations de rayon d'arc dans votre projet.
Pour coter un arc, cliquez sur n'importe quel point de l'arc et faites glisser la ligne cotation.

2.16.11.6. Marques de niveau et d'élévation



Créez des marques associatives de niveau et d'élévation dans votre projet.
En cliquant sur le bouton Unités et formats, le format des nombres peut être défini comme l'unité de distance dans la section transversale Géométrie de la boîte de dialogue *Paramètres / Unités et formats*.
Il s'agit de l'unité et du format utilisés dans la fenêtre des coordonnées. Voir... *3.3.8. Unités et formats*

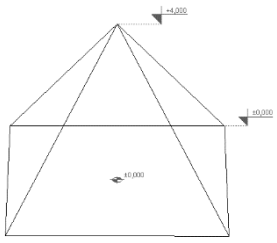


Les repères de niveau peuvent être placés en vue de dessus, en cliquant sur le point souhaité. La vue de dessus est définie comme la vue dans la direction de la gravité (vous pouvez la modifier dans la boîte de dialogue *Paramètres / Pesanteur*).
Voir... *3.3.9 Pesanteur*

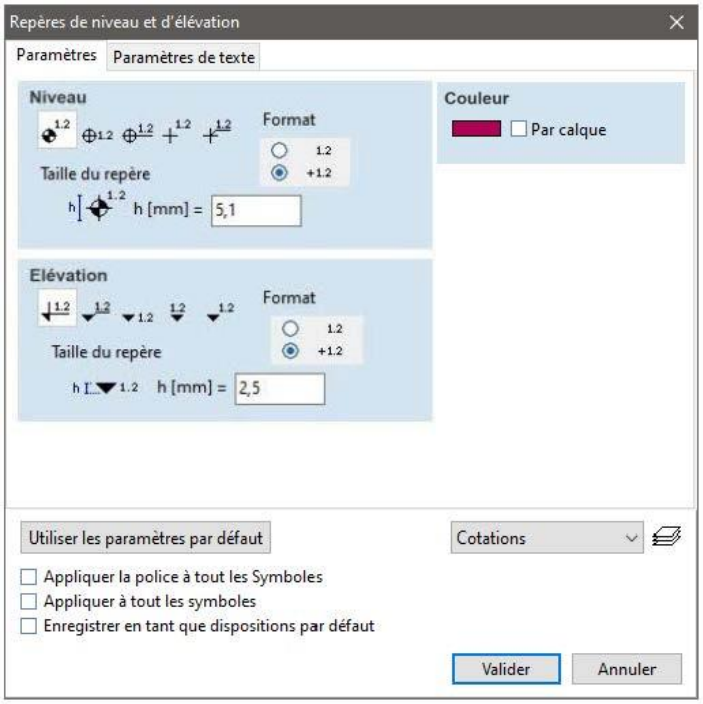


Les repères d'élévation peuvent être placés en vue de face, de côté ou en perspective, en suivant les étapes suivantes :

1. Cliquez sur le point que vous souhaitez marquer.
2. Déplacez la souris dans la direction où vous voulez placer le repère d'élévation, et cliquez pour placer le symbole dans sa position finale.



Paramètres des repères de niveau et d'élévation

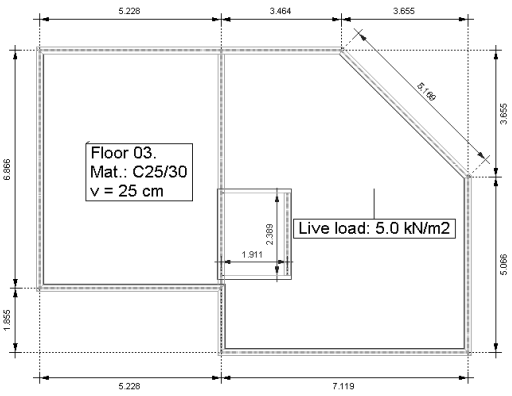


Niveau Sélectionne le symbole du repère de niveau, et définit sa taille et son format.

Élévation Sélectionne le symbole de la marque d'élévation, et définit sa taille et son format.

2.16.11.7. Zone de texte

Crée une zone de texte associative dans votre projet.
Vous pouvez saisir du texte multiligne dans une zone de texte. Le texte utilisera le même formatage de texte dans une zone de texte.

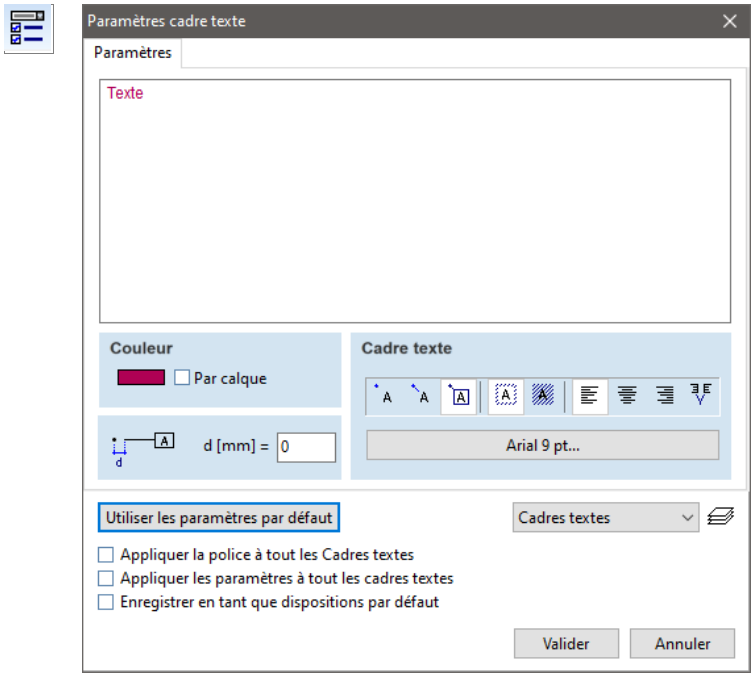


Vous pouvez créer une zone de texte en suivant les étapes suivantes :

Saisissez le texte dans la fenêtre Paramètres de la zone de texte ou, dans le cas d'un texte d'une seule ligne, saisissez-le directement dans le champ d'édition de la barre d'outils.

Cliquez sur le point auquel vous voulez attribuer la zone de texte.

Déplacez la souris à la position souhaitée et cliquez pour mettre la zone de texte dans sa position finale.



Couleur Définit la couleur du texte, du cadre et de la ligne d'extension. Vous pouvez obtenir la couleur à partir du calque.

Cadre texte Ces boutons définissent les paramètres de dessin de la zone de texte, du cadre et de la ligne d'extension, la transparence et l'alignement du texte, et la distance *d de la* ligne d'extension par rapport au point de référence (auquel la zone de texte est assignée).

Police Définit la police, le style et la taille du texte.

Vous pouvez recharger et modifier les paramètres par défaut, appliquer des paramètres de zone de texte ou de police à toutes les zones de texte existantes

Liens actifs Des liens actifs peuvent être placés dans des zones de texte pour joindre toute information externe au projet.
Si le texte contient une référence de fichier ou un lien vers une page web, le fait de cliquer sur la zone de texte lance l'application associée au fichier ou à l'URL au lieu d'ouvrir la boîte de dialogue ci-dessus. Pour modifier le texte, sélectionnez d'abord la zone de texte (par exemple, [Maj]+clic) puis cliquez dans la zone.

Référence du dossier Une référence de fichier est constituée des caractères -> et d'un nom de fichier. Par exemple :
`->C:\MyModel\Reports\Details.doc`
Si aucun chemin complet n'est spécifié, AxisVM part du dossier du projet, donc si notre projet est dans *C:\MyModel* nous pouvons entrer : **-> *\Reports\Details.doc***
En cliquant sur la zone de texte, l'application associée au type de fichier est lancée. De cette façon, nous pouvons joindre des images, des films, des sons, des tableaux Excel ou d'autres documents à n'importe quelle partie du projet.

URL Les protocoles et les formats de liens pris en charge sont :

`http://..., ftp://..., https://..., file://..., www. ...`
Après avoir cliqué sur la zone de texte, le navigateur web par défaut se lance et ouvre le site web ou le fichier.
Si le texte contient plus d'une URL, la première est utilisée.

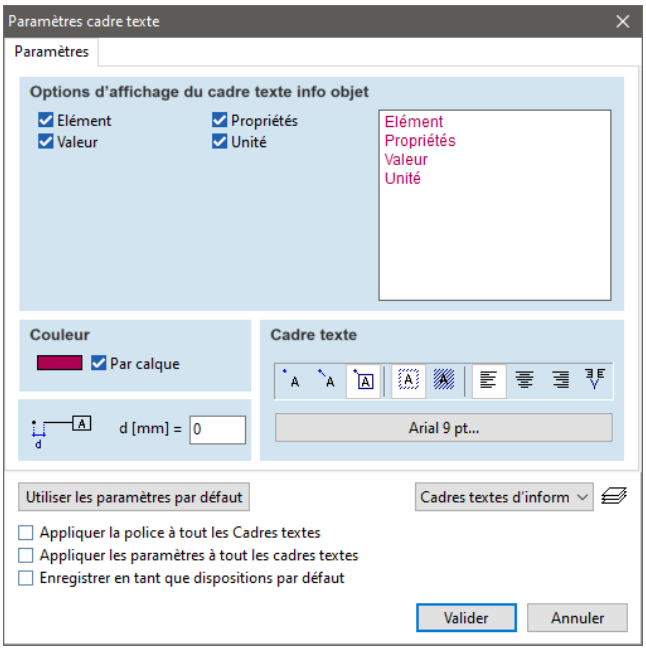
2.16.11.8. Champs de texte pour les informations sur les objets et les résultats

Zone texte information objet



Les propriétés des éléments ou des charges apparaissent dans la zone de texte selon l'onglet en cours *(Géométrie, Élément ou Charges)*. Les paramètres de la zone de texte d'information peuvent être définis dans une boîte de dialogue :





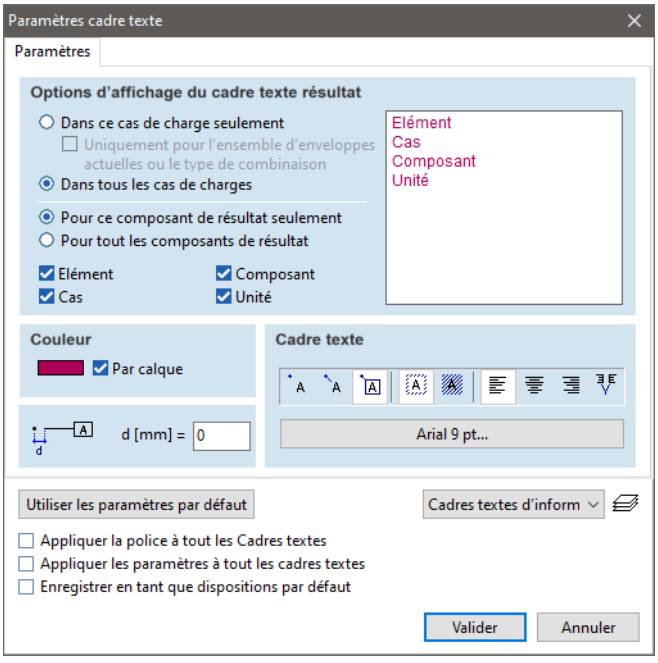
Zone de texte de résultat



Lors de l'affichage des résultats, le curseur détermine la valeur de la composante actuelle du résultat sur les nœuds, les nœuds médians, les centres surfacique ou les points intermédiaires des poutres ou des nervures et l'affiche sous forme d'infobulle. Le texte de l'info-bulle est automatiquement saisi dans une zone de texte.
Les étapes de l'étiquetage des résultats sont similaires à la création d'une zone de texte.
La zone de texte de résultat est visible uniquement lorsque le composant de résultat sélectionné est le même que celui qui a été sélectionné lors de la création de la zone de texte de résultat. Par exemple, une boîte de texte *résultat My est* affichée uniquement lorsque le composant *résultat My* est sélectionné comme composant de résultat actuel.

Les options de la zone de texte de résultat peuvent être définies dans une boîte de dialogue :





Dans cette situation de chargement uniquement
L'étiquette de résultat est visible uniquement dans la situation de chargement (cas ou combinaison de charge, enveloppe ou combinaison critique) dans laquelle il a été créée.

Seulement pour le type d'enveloppe ou de combinaison critique actuel
Si une enveloppe ou une combinaison critique est sélectionnée, cette contrainte supplémentaire permet d'afficher l'étiquette de résultat uniquement si le même ensemble d'enveloppes (par exemple, Toutes les combinaisons de charge) ou le même type de combinaison critique (par exemple, ELS Quasi permanent) est sélectionné. Si elle n'est pas cochée, l'étiquette de résultat devient visible lorsque toute enveloppe est affichée (si elle a été définie avec une enveloppe sélectionnée), ou lorsque toute combinaison critique est affichée (si elle a été définie avec une combinaison critique sélectionnée).

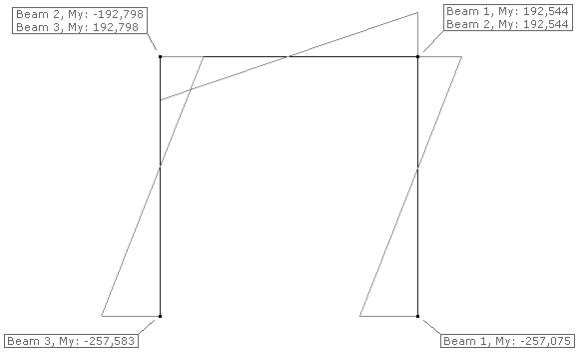
Dans toutes les situations de chargement
L'étiquette de résultat reste visible quel que soit le cas de charge, la combinaison, l'enveloppe ou la combinaison critique affichée. Les valeurs réelles seront mises à jour lors du changement de cas.

Dans cette situation de chargement seulement
Le label de résultat n'est visible que dans le cas de chargement dans lequel il a été créé.

Dans tous les cas de charge
L'annotation de résultat reste visible quel que soit le cas de chargement. Les valeurs réelles seront mises à jour lors du changement de cas.

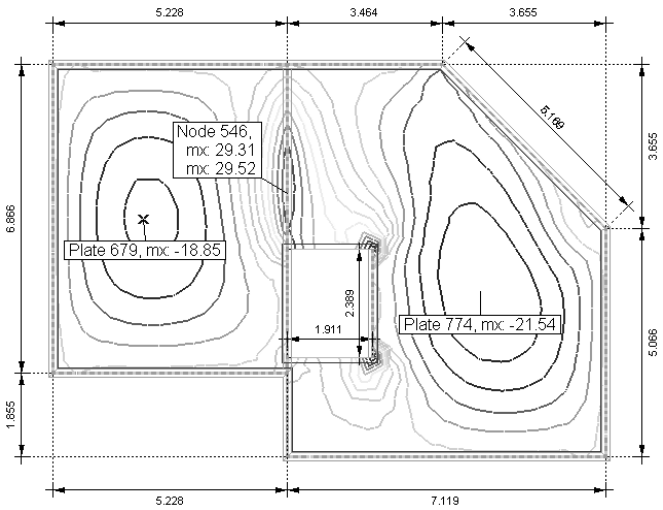
Pour ce composant du résultat uniquement
L'annotation de résultat n'est visible que si sa composante de résultat est affichée.

Pour toutes les composantes des résultats
L'annotation de résultat reste visible quelle que soit la composante de résultat affichée.



Options de texte de l'annotation de résultat :

Élément :	Indiquez le type et le numéro de l'élément.
Composante :	Inclure le nom de la composante de résultat.
Cas :	Inclure le nom du cas de charge, de la combinaison ou description de la combinaison critique.
Unité :	Inclure le nom de l'unité.



Sous le bouton "*Utiliser par défaut*", trois cases à cocher permettent de personnaliser la zone de texte:

Appliquer la police à toutes les zones de texte
Après avoir cliqué sur le bouton **VALIDER**, seule la police de toutes les zones de texte change.

Appliquer les paramètres à toutes les zones de texte
Après avoir cliqué sur le bouton **VALIDER, les** paramètres de toutes les zones de texte seront réglés sur ces valeurs.

Enregistrer comme paramètre par défaut
De nouvelles zones de texte apparaîtront en utilisant les paramètres actuels par défaut.

Gestionnaire de calques



[F11]

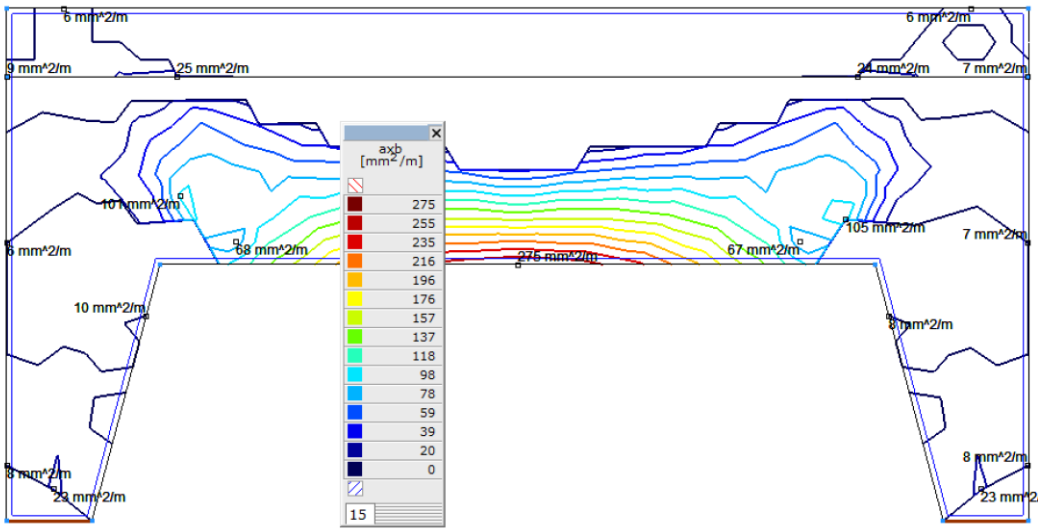
Cette commande vous permet de créer de nouveaux calques ou de modifier les calques existants. Cette fonction est également disponible dans le menu en tant que *Paramètres / Gestionnaire de calques.* Voir... *3.3.3. Gestionnaire de calques*

2.16.11.9. Annotations d'isolignes



Permet de placer une série d'annotations sur les isolignes.

1. Cliquez sur l'icône des *annotations Isolignes*
2. Saisissez deux points définissant un segment linéaire
3. Les annotations sont placées aux intersections du segment et des isolignes



L'étiquetage automatique des isolignes peut être activé dans la fenêtre de légende des couleurs. Voir... *2.19.4. Fenêtre de légende des couleurs*

2.16.11.10. Cotation pour les semelles de fondation



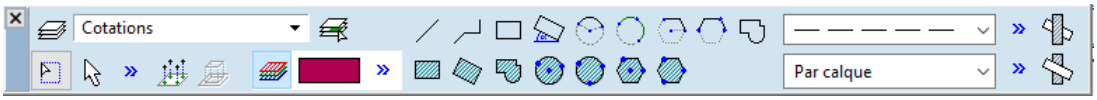
Définit les propriétés des cotations pour les semelles calculées
Les réglages sont les mêmes que pour les cotations normales.

2.16.12. Édition des calques de fond de plan



Éditeur de calque de fond de plan

Cet éditeur permet d'apporter des modifications aux calques DXF et PDF importées et d'ajouter de nouvelles formes. Les calques d'arrière-plan ne contiennent que des informations géométriques et ne jouent aucun rôle dans la structure.





Gestionnaire de calques
Ouvre le gestionnaire de calques. Voir... *3.3.3. Gestionnaire de calques*

Sélection d'un calque

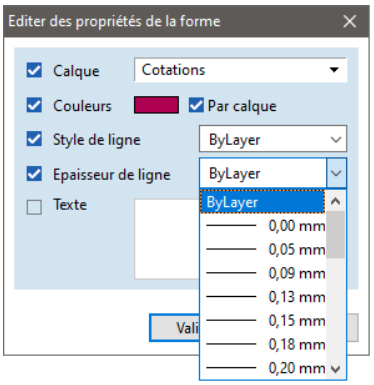
Sélectionnez un calque à éditer dans l'arbre déroulant.
Pour créer un nouveau calque, ouvrez le gestionnaire de calques et créez un nouveau calque, puis cliquez sur VALIDER. Vous pouvez ensuite sélectionner le nouveau calque.



Une autre façon de sélectionner un calque est de cliquer sur ce bouton à côté de l'arbre déroulant puis de cliquer sur une forme. Le calque associé à cette forme sera sélectionné.



Sélection
Cliquez sur ce bouton pour activer la sélection de la forme.
Cliquez sur le contour de la forme ou faites glisser un cadre autour des formes et cliquez sur le contour d'une forme sélectionnée puis définissez les propriétés dans la boîte de dialogue *Modifier les propriétés de la forme.*
En utilisant les fonctions de sélection spéciales, choisissez le bouton suivant de la barre d'outils *(Modes de sélection spéciaux).*
Un clic droit sur un objet du calque affiche un menu contextuel. *Isoler le calque pour l'édition* verrouille tous les autres calques et permet d'éditer le calque qui le contient. *Supprimer le calque permet de* supprimer le calque contenant.





Modes de sélection spéciaux
En cliquant sur ce bouton, une palette d'options de sélection s'affiche. Voir... *2.16.1. Sélection*
Cliquez sur VALIDER si la sélection est terminée et cliquez sur n'importe quelle forme sélectionnée pour définir les propriétés de la forme.



Récupérer des propriétés
Cliquez sur ce bouton et pour activer le ramassage. Cliquer sur une forme permet de récupérer toutes les propriétés de cette forme (c'est-à-dire que toutes les fonctions de dessin ultérieures utiliseront ces propriétés).



Convertir les points des formes sélectionnées en nœuds AxisVM



Convertir les formes sélectionnées en lignes AxisVM
Après avoir cliqué sur ce bouton, une barre d'outils de sélection apparaît. Cliquez sur VALIDER si la sélection est terminée. Toutes les formes sélectionnées seront copiées sous forme linéaires régulières AxisVM.



Mettre en arrière-plan les objets sélectionnés

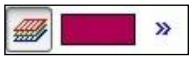


Mettre en premier-plan les objets sélectionnés

Supprimer des formes

Pour supprimer des formes, sélectionnez-les d'abord puis appuyez sur la touche *Suppr du* clavier.

Couleur du stylo



La couleur du stylo est utilisée pour dessiner le contour des formes et aussi pour remplir l'intérieur des formes remplies.
Il y a trois façons de régler la couleur actuelle du stylo.



Définissez la couleur du calque comme couleur de stylo.



Choisissez une couleur dans un dialogue.



Prenez la couleur du stylo d'une forme existante en cliquant dessus.

Style linéaire
Poids de la ligne

Deux listes déroulantes sur la droite montrent les styles linéaires disponibles (en haut) et les poids linéaire (en bas). Sélectionnez les valeurs souhaitées.
Ces réglages n'ont aucun effet sur les formes remplies car ils n'ont pas de contour.



Prendre le style linéaire ou le poids linéaire d'une forme existante



Barre d'outils pour dessiner des lignes et des formes contournées.

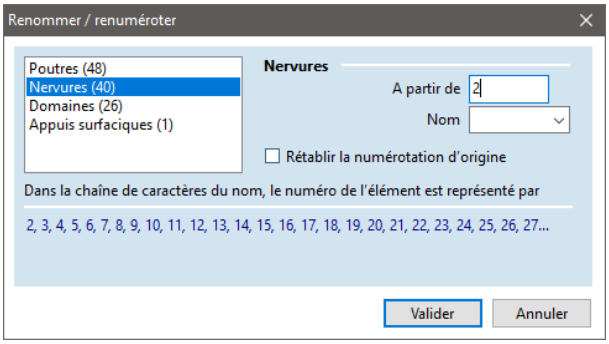


Barre d'outils pour dessiner des formes remplies.

2.16.13. Renommer/renuméroter



Les nœuds, les fermes, les poutres, les nervures, les domaines, les appuis nodaux, linéaires et surfaciques du projet, les assemblages d'éléments en acier et en bois peuvent être renumérotés et renommés (leur numérotation suit l'ordre de création par défaut).
Pour renommer et renuméroter des nœuds ou des éléments, sélectionnez-les d'abord puis cliquez sur l'icône de fonction dans la barre d'icônes à gauche.



La liste de gauche indique le nombre de nœuds et d'éléments sélectionnés. Choisissez ce que vous voulez renommer / renuméroter.

Commencez à

Entrez le numéro de départ. Les éléments sélectionnés seront renumérotés dans un ordre déterminé à partir de leur position. La renumérotation peut avoir un effet sur les éléments non sélectionnés car deux nœuds ou éléments ne peuvent pas avoir le même numéro.

Nom

Dans les chaînes de nom, le numéro de l'élément est représenté par un trait de soulignement (_). Par exemple: si le numéro de départ est 1, et que le champ *Nom* contient *T_*, les noms des éléments sélectionnés seront *T1, T2, T3* ... Si un seul élément est sélectionné, il n'est pas nécessaire d'inclure _ dans le *Nom*. Dans le cas contraire, il doit être inclus car les éléments doivent avoir des noms différents. Si le champ *Nom* est vide, le nom sera le numéro lui-même.

Restaurer les numéros d'origine

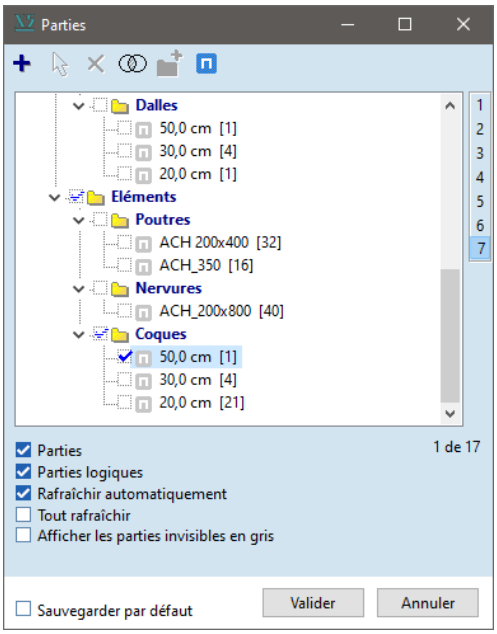
Si la case *Restaurer les numéros d'origine* est cochée, cliquer sur le bouton VALIDER permet de restaurer les numéros d'origine des éléments sélectionnés et d'effacer leurs noms. Le type d'élément doit être sélectionné dans la liste de gauche.

Pour activer/désactiver l'affichage des numéros / noms des éléments, ouvrez la boîte de dialogue Options d'affichage
(voir... *2.16.18. Options d'affichage*) ou utiliser le bouton rapide (voir... *2.18 Boutons rapides*)

2.16.14. Parties



Cette commande vous permet de créer des ensembles d'éléments structuraux appelés parties. Travailler avec des parties facilite le pré et le post-traitement.
AxisVM Cette commande vous permet d'afficher une ou plusieurs parties, appelées parties actives, en même temps. En outre, si la case à cocher Partie est activée, les commandes n'affecteront ou ne feront référence qu'aux entités des parties actives. Le nom de la partie active est affiché dans la fenêtre Info. Si plus d'une partie est activée, *n parties sont* affichées, où *n est* le nombre de parties actives.
Il existe deux types de parties: les parties définies par l'utilisateur et les parties logiques. Les parties *définies par l'utilisateur* sont créées par l'utilisateur qui sélectionne les éléments appartenant à la partie. Les *pièces logiques* sont créées automatiquement par le programme qui trie les éléments en catégories selon différents critères (matériau, section transversale, épaisseur, type d'élément, groupes d'étage ou d'optimisation, groupes d'excentricité).
Vous pouvez activer une partie existante en cliquant sur son nom dans la zone de liste.



Les parties peuvent également être activées sans ouvrir cette boîte de dialogue en cliquant simplement sur le bouton de vitesse « *parties* » (en bas de l'écran).

Le détail de l'arborescence peut être définie en cliquant sur les chiffres à droite de la fenêtre.

Nouveau



Crée une nouvelle partie définie par l'utilisateur (un jeu d'entités projets).
Vous devez attribuer un nom à chaque nouvelle partie. Vous devez ensuite définir la nouvelle partie en sélectionnant des entités (en utilisant la barre d'icônes de sélection si nécessaire) dans la fenêtre d'affichage active.

Modifier



Cette commande vous permet de modifier la partie sélectionnée par l'utilisateur. Lorsque le menu de sélection apparaît, les entités du projet qui se trouvent dans la partie sont affichées comme étant sélectionnées.

Supprimer



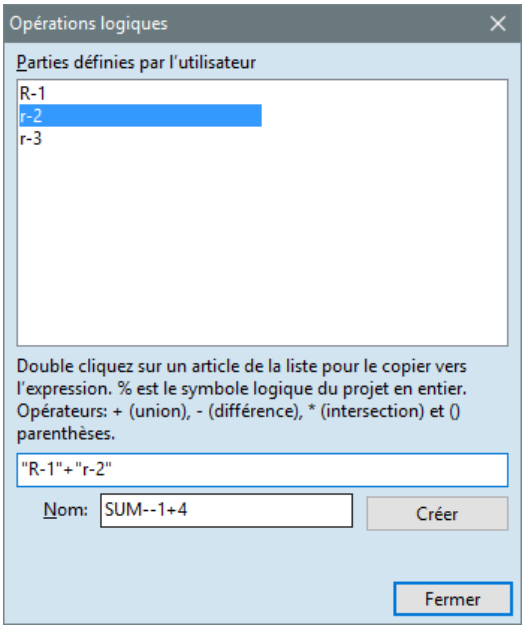
Permet de supprimer de la liste la partie définie par l'utilisateur sélectionnée. Cette commande n'affectera pas le projet.

☞ **Si les tableaux de résultats des segments de section transversale sont sélectionnés, seuls les segments de section transversale des parties actives sont listés.**

Opérations logiques de l'ensemble



Crée une nouvelle partie en effectuant des opérations logiques sur les parties d'un projet définies par l'utilisateur. Vous devez spécifier les opérations d'ensemble. Pour saisir le nom d'une partie, double-cliquez sur le nom correspondant dans la liste. Utilisez le symbole % pour inclure l'ensemble du projet.
Par exemple: %-Poteaux créera la partie qui comprendra le projet entier moins la partie nommée Poteau.
En cliquant sur le bouton Créer, vous pouvez entrer dans le champ Nom le nom de la partie nouvellement créée. Si vous souhaitez utiliser les caractères +, -, , (,) dans le nom d'une nouvelle pièce, vous devez placer le nom entre les marques "" (exemple: "étage +12.00").



Création de nouveaux dossiers

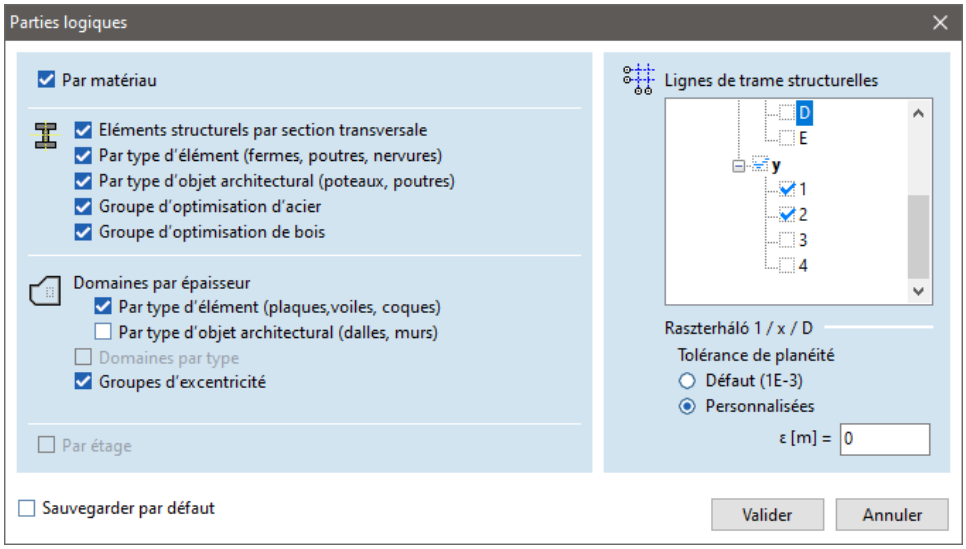


La création de dossiers offre un moyen de trier les parties de projets définies par l'utilisateur. Les pièces peuvent être déplacées et réorganisées en les faisant glisser vers une nouvelle position. Les touches **[Ctrl]** et **[Maj]** permettent une sélection multiple de la manière habituelle.
L'activation/désactivation des dossiers permet d'activer/désactiver les parties du dossier.

Parties logiques



Ce dialogue vise à établir des critères pour la création de parties logiques.
Les objets architecturaux sont définis par leur géométrie. Les poutres verticales, les nervures et les fermes sont considérées comme des poteaux, les éléments horizontaux comme des poutres. Les domaines dans le plan horizontal sont des dalles, les domaines dans les plans perpendiculaires aux plans horizontaux sont considérés comme des murs.
S'il y a des étages définis, des parties logiques peuvent être créées par les étages.
Les pièces créées à partir des groupes d'optimisation du bois et de l'acier permettent de modifier facilement la section transversale d'un groupe d'optimisation. Les pièces peuvent être créées à partir de domaines par type (domaines nervurés paramétriques, tabliers métalliques trapézoïdaux, domaines XLAM, etc.) ou par groupes d'excentricité., voir... *4.9.6. Domaine*.
Si le projet contient des trames structurelles, il est également possible de définir des parties logiques basées sur des trames structurelles. Ces parties contiennent des éléments dans le plan obtenu en balayant la ligne de trame perpendiculairement au plan de la trame. Les éléments et les domaines de la ligne ne sont inclus que si tous leurs nœuds se trouvent dans le plan. La tolérance du plan peut être personnalisée pour chaque ligne de trame. Plusieurs lignes de trame peuvent être sélectionnées (Ctrl+clic ou [Maj]+clic sur le nom de la ligne de trame) et une valeur commune peut être définie.



Case à cochers d'affichage

Les cases à cocher d'affichage fonctionnent de la manière suivante :

Parties S'il est activé, seules les parties cochées dans la liste sont affichées.
S'il est éteint, le projet entier est affiché.

Parties Logiques Activation/désactivation de l'affichage des parties logiques.

☞ **Lorsque vous travaillez sur des pièces, seules les données des pièces actives apparaîtront par défaut dans les tableaux.**

Rafraîchissement automatique
Si elle est activée ou désactivée, les pièces provoqueront immédiatement un redessiné. S'il est éteint, l'écran n'est mis à jour qu'après avoir cliqué sur le bouton **VALIDER.**

Tout rafraîchir
Si elle est activée, les pièces seront activées ou désactivées dans toutes les fenêtres en mode multifenêtre.
Si elle est désactivée, les paramètres des pièces seront mis à jour uniquement dans le panneau actif.

Afficher les parties non visibles en grisé
S'il se trouve sur l'ensemble du projet en mode fil de fer, il est également affiché en gris pour faciliter l'identification des parties du projet.

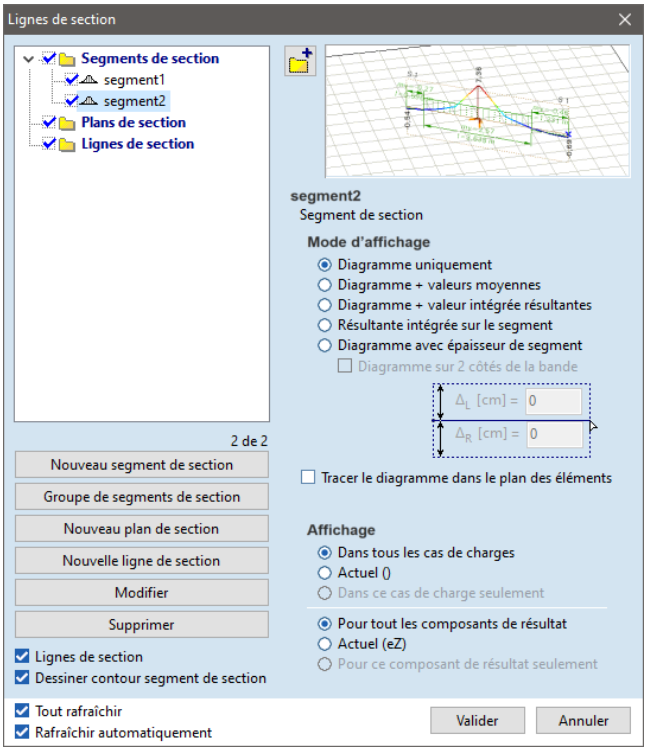
Sauvegarder par défaut Si cette option est cochée, l'état actuel des *parties logiques, Tout rafraichir* et *Afficher les parties non visibles en grisé* sera enregistré comme paramètre par défaut lors de la fermeture du dialogue.

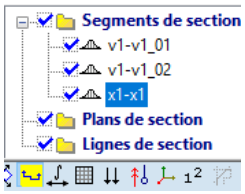
2.16.15. Lignes et plans de section



Cette commande vous permet de créer des lignes de coupe, des plans et des segments à travers n'importe quel projet surfacique, qui peuvent être utilisés pour traiter les résultats (déplacements, forces internes, etc.).
Si une ferme, une nervure ou une poutre se trouve dans un plan de coupe actif et que l'élément de résultat a des valeurs sur ces éléments, un diagramme est affiché sur ces éléments linéaires également.

Les résultats des segments de section transversale peuvent être énumérés dans le navigateur de tableaux.
Voir... *6.1.5.1. Tableaux des résultats des segments de section transversale*



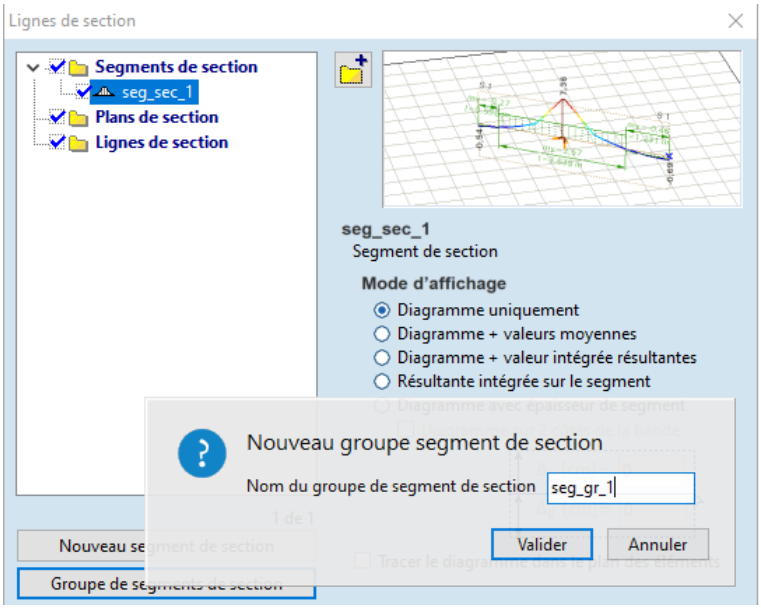


La boite de dialogue fonctionne de la même manière que la boite de dialogue des *parties*.
Les lignes de section transversale, les plans et les segments peuvent également être activés et désactivés à l'aide d'un bouton rapide situé dans la barre d'outils inférieure.
Si le mode d'affichage des résultats est Section Les diagrammes de résultats de section transversale sont affichés uniquement sur les lignes de section transversale, les plans et les segments.
Pour réduire la complexité des dessins, l'affichage des sections transversales individuelles, les lignes, plans ou segments peuvent être contrôlés pour n'apparaître que dans un certain cas de charge et/ou pour un certain composant de résultat. Les segments de section transversale, les plans et les lignes sont automatiquement triés dans trois dossiers différents (groupes de types).

☞ **Les étages ne peuvent pas être glissés dans un groupe de type différent.**

☞ **Si les tableaux de résultats des segments de section transversale sont sélectionnés, seuls les segments de section transversale des parties actives sont listés.**

Création d'un groupe de segments de section transversale



Des groupes de segments de section transversale peuvent être créés pour faciliter l'activation et la désactivation de plusieurs segments de section transversale ensemble. Cliquez sur *Nouveau groupe de segments de section transversale*, entrez un nom pour le groupe *(nom)* et définissez un nombre quelconque de segments de section transversale. Terminez la définition en appuyant sur **[Echap]**. Les segments de section transversale seront numérotés *(xx)* et se retrouveront dans le dossier *nom* comme *nom_xx*. L'extension d'un groupe de segments de section transversale existant est également possible en sélectionnant le dossier ou un membre de celui-ci avant de lancer cette fonction.

Création de nouveaux dossiers



La création de dossiers offre un moyen de trier les sections transversales. Les segments peuvent être déplacés et réorganisés en les faisant glisser vers une nouvelle position dans son propre groupe de types. Les touches **[Ctrl]** et **[Maj]** permettent une sélection multiple de la manière habituelle.
L'activation/désactivation des dossiers permet d'activer/désactiver les segments à l'intérieur du dossier.

Nouveau segment de section transversale

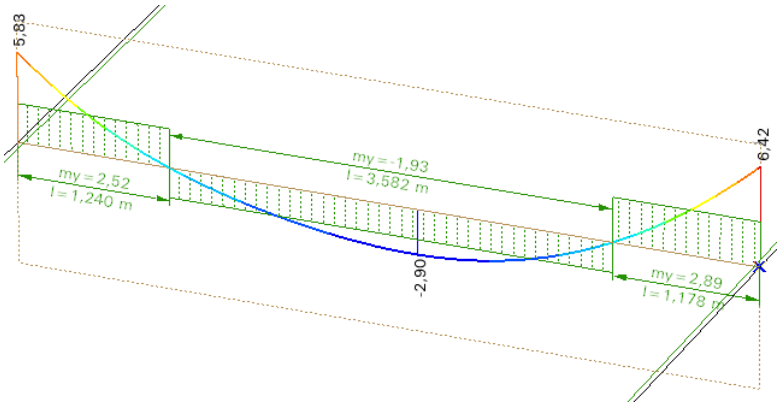
Pour définir le segment, entrez deux points d'un domaine ou sur des domaines dans le même plan.
En réglant les boutons radio, vous pouvez contrôler la façon dont le diagramme des forces internes sera affiché. La moyenne et les valeurs intégrées résultantes sont calculées pour des sous-segments définis entre des changements adjacents du signe du diagramme.

☞ **Si l'option Enveloppe ou Critique est sélectionnée, l'enveloppe ou les valeurs critiques sont calculées pour chaque point (comme indiqué dans le diagramme) puis intégrées. Par conséquent, la valeur intégrée est irréelle dans le sens où elle est calculée à partir de valeurs non simultanées.**

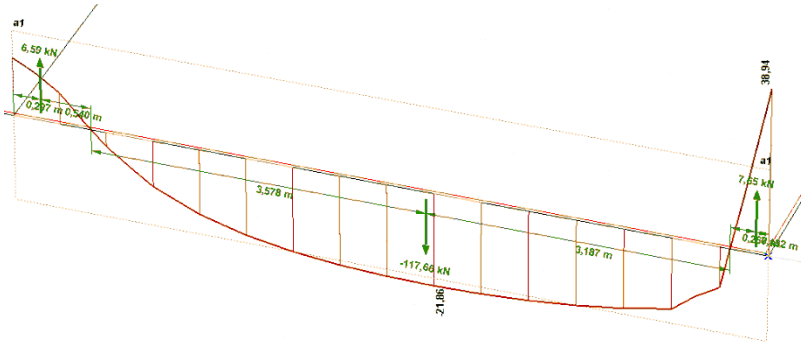
☞ **Si le résultat sismique combiné (X, Y, Z, +, -) est sélectionné, les valeurs combinées selon la méthode CQC ou SRSS sont calculées pour chaque point (comme indiqué dans le diagramme) et ensuite intégrées. Par conséquent, la valeur intégrée est irréelle dans le sens où elle est calculée à partir de valeurs non simultanées.**

La largeur du segment de gauche ou de droite peut également être spécifiée. Dans ce cas, les valeurs du diagramme sont calculées en faisant la moyenne sur la largeur du segment. Pour une visualisation plus expressive de la largeur du segment, le diagramme peut également être affiché des deux côtés de la bande.
Les diagrammes sont généralement affichés perpendiculairement au plan des éléments, mais en cochant l'option *Dessiner le diagramme dans le plan des éléments, le diagramme* tourne dans le plan. Dans la boîte de dialogue *Paramètres d'affichage,* ce paramètre peut être activé/désactivé pour tous les segments de section transversale.

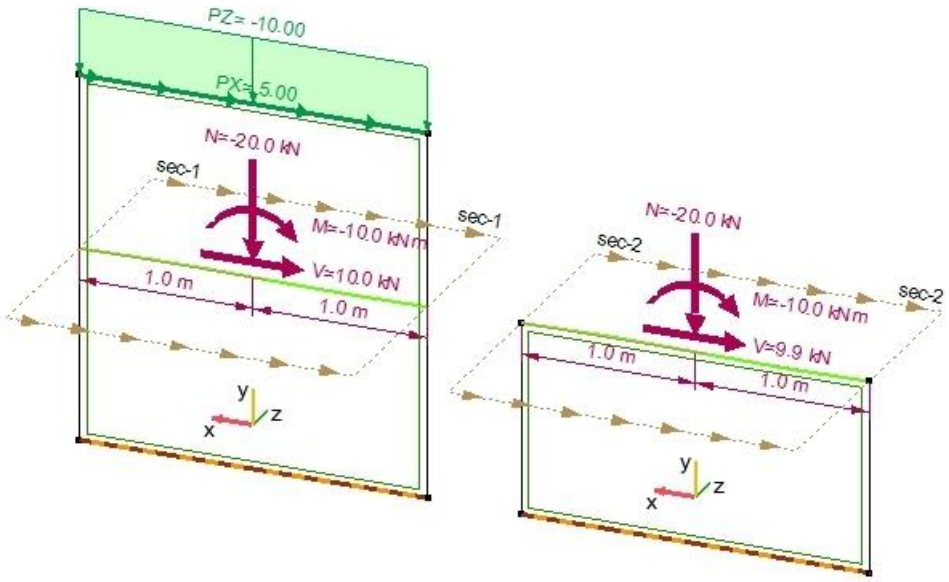
☞ **Si l'option *Dessiner le diagramme dans le plan des éléments* est sélectionnée, l'option *Diagramme avec largeur de segment* ne peut pas être utilisée.**



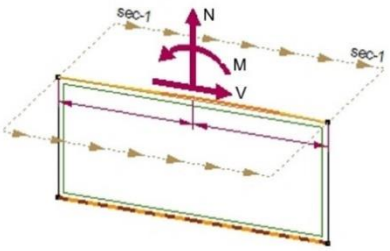
Affichage des valeurs moyennes



Affichage des valeurs intégrées résultantes



Résultat intégré sur le segment



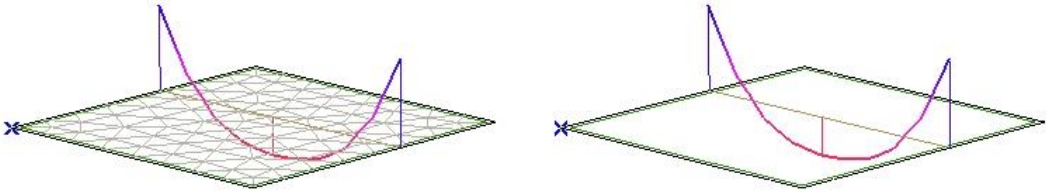
Le segment de section transversale divise le domaine en deux parties. Pour le calcul, l'une d'elles est supprimée. La partie supprimée est sélectionnée de telle sorte que l'axe local perpendiculaire au segment de section transversale (axe y désigné par le jaune dans l'image) pointe vers l'extérieur de la partie restante. Les flèches sont affichées sur le côté de la partie retirée. Elles indiquent les forces et le moment qui agissent sur la partie restante par la partie enlevée. La direction du segment de section transversale est indiquée par les flèches le long du contour du plan de section transversale. Le segment de section transversale est dirigé du premier au deuxième point choisi lors de sa définition. L'image de droite montre la direction positive des composants résultants.

- **La résultante intégrée sur le segment n'est affichée que pour les segments de section transversale prallèles avec l'axe local x ou y.**
- **Si Enveloppe ou Critique est sélectionné, les composantes résultantes sont affichées en mode Min ou Max uniquement. Les valeurs des trois composantes résultantes ne sont pas simultanées.**
- **Si Enveloppe ou Critique est sélectionné, la valeur résultante est intégrée pour chaque enveloppe ou combinaison de charge critique sur le segment et ensuite le minimum ou le maximum est indiqué. Par conséquent, le résultat affiché n'appartient qu'à une seule combinaison de charge et est indépendant du diagramme affiché qui contient des valeurs non simultanées.**
- **Si le résultat sismique combiné (X, Y, Z, +, -) est sélectionné, la valeur résultante est intégrée pour chaque cas de charge modale sur le segment, puis le résultat combiné selon la méthode CQC ou SRSS est affiché. Par conséquent, le résultat est indépendant du diagramme affiché qui contient des valeurs non simultanées.**

Nouveau plan de section transversale

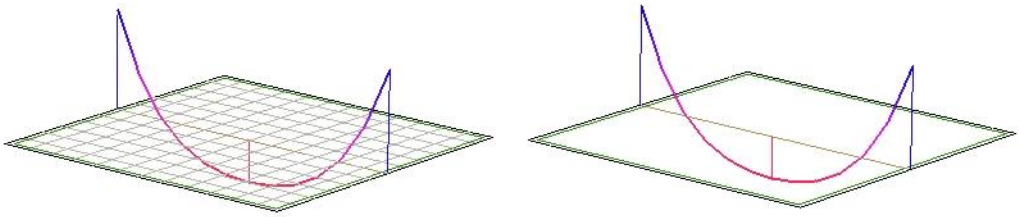
Cliquez sur *Nouveau plan de section transversale* et attribuez un nom à la section transversale. Ce type de section transversale est basé sur un plan. Cliquez ou saisissez deux points pour définir le plan de la section transversale. Cliquez ensuite sur VALIDER dans la barre d'icônes de sélection pour enregistrer. En perspective, vous devez cliquer ou saisir trois points pour définir le plan de coupe. Les plans de coupe sont affichés sous forme de rectangles linéaires pointillées. Vous pouvez activer/désactiver l'affichage des rectangles de plans de coupe.

Les plans de coupe sont utiles lorsque vous souhaitez afficher les résultats uniquement le long d'une certaine ligne à travers toute la structure.



Nouvelle ligne de section transversale

Cliquez sur la *ligne Nouvelle section transversale* et attribuez un nom à la section transversale. Vous devez ensuite sélectionner les bords de la surface ou les éléments de la poutre qui définissent la ligne de section transversale. Cliquez ensuite sur VALIDER dans la barre d'icônes de sélection pour enregistrer. Les lignes de section transversale peuvent être discontinues.

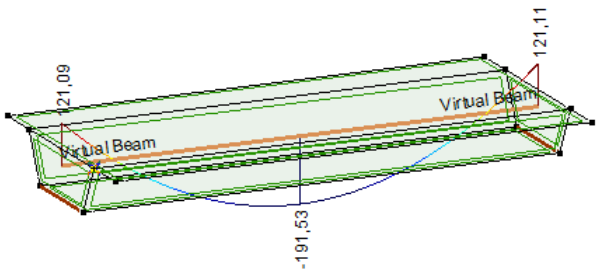


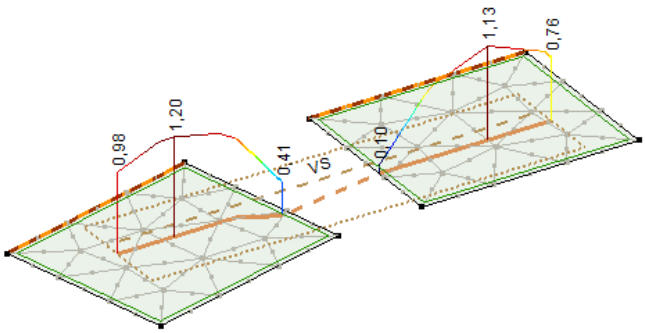
Les lignes, les plans et les segments des sections transversales contrôlées sont actifs.
Vous pouvez utiliser les cases à cocher Rafraîchir automatiquement et Tout rafraîchir, ainsi que les boutons Nouveau, Modifier et Supprimer de la même manière que dans le dialogue des *parties*.

☞ **Les tracés des lignes de section transversale ne sont pas corrélés avec les directions des composantes du résultat affichées.**

2.16.16. Poutres virtuelles

Les poutres virtuelles sont utilisées pour la représentation sous forme de poutre des résultats des domaines et des nervures attachées. Après avoir calculé les forces surfaciques, le programme crée un nombre fini de sections transversales perpendiculaires à la direction de la - poutre virtuelle et réduit les forces de section transversale au centre de gravité de la section transversale.
Si les parties actives contiennent des domaines avec des poutres virtuelles et qu'une composante de résultat est sélectionnée parmi les forces internes des poutres virtuelles (*6.1.11. Forces internes de la poutre virtuel*), le diagramme sera affiché le long de la ligne centrale de la poutre virtuelle.
Si une poutre virtuelle et les domaines correspondants sont activés, et que des résultats compatibles avec les forces sont sélectionnés, les forces réduites seront alors tracées sur l'axe de la poutre virtuel.





Les bandes virtuelles sont comme des poutres virtuels mais les sections transversales ne courent pas jusqu'au bord du domaine (elles sont limitées par une largeur de bande fixe à gauche et à droite, Δ_L et Δ_R).

Le tableau des résultats de la poutre virtuel peut être affiché dans le *Navigateur de* .
Voir... *6.1.5.1. Tableaux des résultats des segments de section transversale*

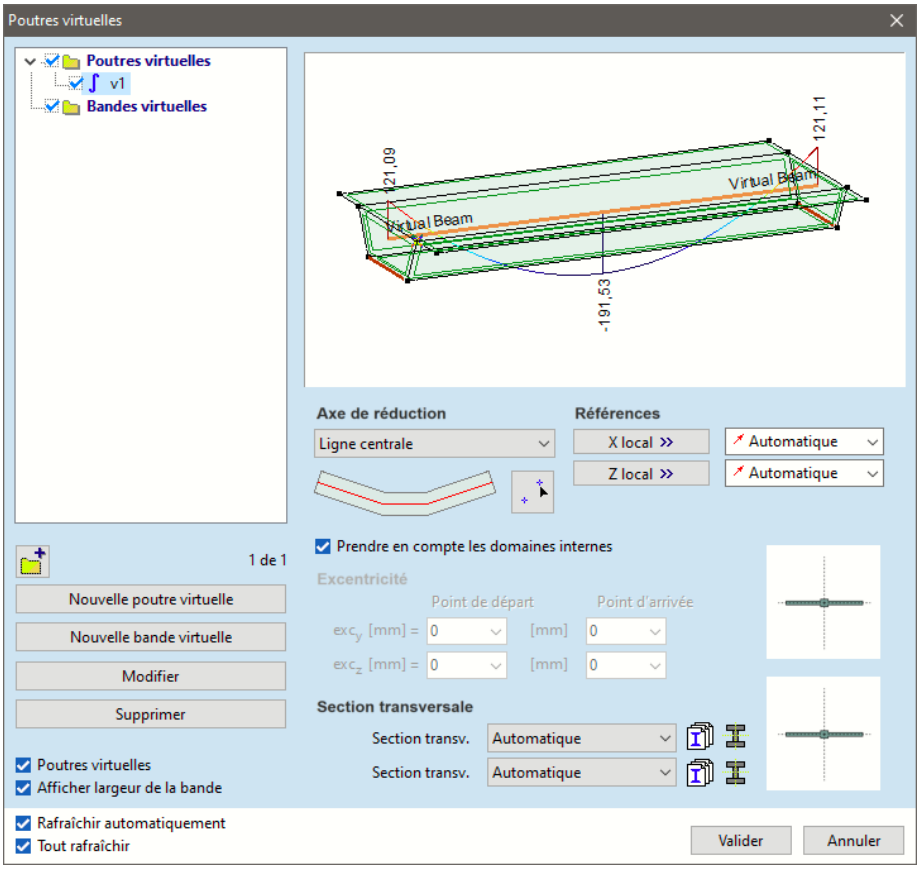
Nouvelle poutre Virtuelle Entrez un nom et sélectionnez les domaines dans lesquels la poutre virtuelle doit fonctionner. L'axe de la poutre virtuel n'est pas nécessairement une ligne continue et son type peut être défini (voir ci-dessous). Voir... *0. Références.*

Nouvelle bande Virtuelle Entrez un nom puis le point de départ et le point d'arrivée de la bande. Ces points définissent l'axe de la poutre virtuel. Si les deux points se trouvent sur des domaines différents, les domaines doivent être dans le même plan. Les valeurs de largeur de bande de Δ_L et Δ_R d'une nouvelle bande sont automatiquement fixées à 0,5 m, mais elles peuvent être modifiées.

☞ **Des sections transversales de poutres virtuelles sont créées à partir des domaines maillés et non maillés. Les bandes virtuelles nécessitent un maillage.**

☞ **La définition des poutres et des bandes virtuelles est beaucoup plus rapide dans les domaines non maillés, puisque le programme ne calcule les intersections avec tous les éléments finis qu'après la génération du maillage, et non au moment de la définition.**

☞ **Les étages ne peuvent pas être glissés dans un groupe de type différent.**



Axe de réduction des poutres virtuelles



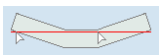
Ligne centrale : L'axe de réduction est la ligne centrale de la poutre virtuelle. Le système local de la poutre virtuelle peut être réglé indépendamment de l'axe de réduction en définissant la direction locale *x* et *z* sous *Références*.



Ligne droite : Le programme coupe les domaines le long de la direction x locale, perpendiculairement à la direction *x*. La section transversale à un certain point est constituée de l'intersection des domaines et du plan de coupe. La première et la dernière section transversale non vide définit le point de départ et le point d'arrivée de la poutre virtuelle. L'axe de réduction est une ligne droite entre le centre de gravité de la première et de la dernière section transversale. L'axe de réduction n'est pas nécessairement parallèle à la direction x locale, mais en dépend.



Point et vecteur de référence : L'axe de réduction sera une ligne passant par un point donné et parallèle à un vecteur de référence sélectionné.

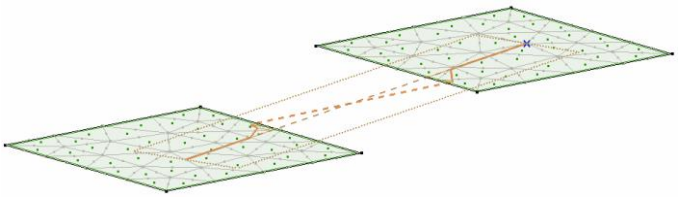


Deux points : L'axe de réduction passe par deux points sélectionnés.

Axe de réduction des bandes virtuelles

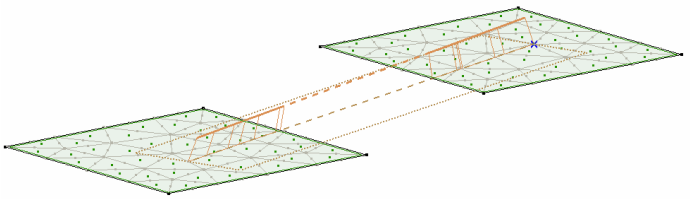


Ligne centrale : L'axe de réduction coïncide avec la ligne centrale de la bande virtuelle, qui est l'ensemble des centres de gravité des sections transversales perpendiculaires à la ligne définie par les deux points d'extrémité de la bande.



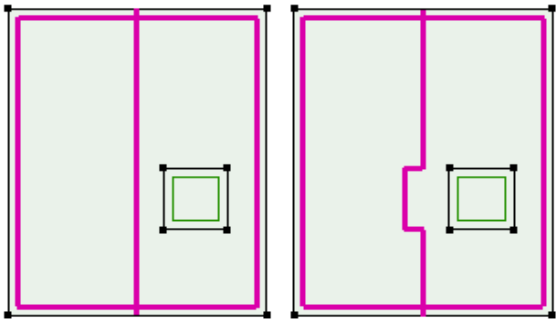


Excentrique : La création de segments est identique, mais les forces internes sont réduites à un segment linéaire, excentrique à celui qui relie les points d'extrémité de la bande. L'excentricité est régie par la transition des points d'extrémité de la bande.



Prendre en compte les domaines internes

S'ils sont cochés, le programme prend également en compte des domaines internes non sélectionnés lors de la recherche de la ligne centrale et de l'intégration des résultats. S'ils ne sont pas cochés, ces domaines ne contribuent pas à la ligne médiane et ils sont également ignorés lors de l'intégration.



Les mêmes poutres virtuelles tenant compte des domaines intérieurs (à gauche) et les ignorant (à droite*).*

* Si nous prenons en compte le domaine intérieur, cela signifie que nous traitons l'ensemble du domaine comme un seul et même domaine, et que la ligne centrale coïncidera avec la ligne centrale du rectangle extérieur. Sinon, la ligne centrale sera brisée là où le domaine interne est ignoré car le segment horizontal d'intégration sera plus court.

Références

Les références sont fixées automatiquement. Par défaut, la direction x locale de la poutre virtuelle est parallèle au côté le plus long de la boîte de délimitation des domaines sélectionnés dans l'espace global. Les directions y et z locales sont définies de la même manière que les références automatiques pour les éléments de la poutre. Les références peuvent être personnalisées. (Voir... *4.9.22. Références*).

Section transversale

Une section transversale personnalisée peut être définie pour les poutres et les bandes virtuelles. Cette section transversale peut être lue à travers l'interface COM et peut être utilisée dans des programmes d'étude externes.

Création de nouveaux dossiers



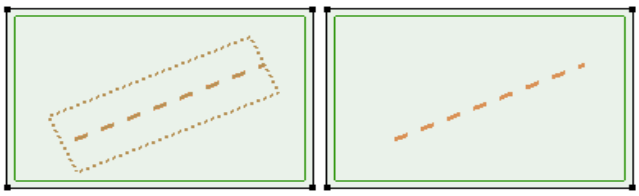
La création de dossiers permet de trier les poutres virtuelles. Les poutres virtuelles peuvent être réorganisées en les faisant glisser vers une nouvelle position au sein de leur propre groupe de types. Activer/désactiver les dossiers permettent d'activer/désactiver tous les poutres virtuelles à l'intérieur du dossier. Les touches **[Ctrl]** et **[Maj]** permettent une sélection multiple de la manière habituelle.

Poutres virtuelles

Cette case à cocher contrôle l'affichage des poutres virtuelles dans le projet.

Largeur de la bande virtuelle

Cette case à cocher contrôle l'affichage de la largeur de bande virtuelle.

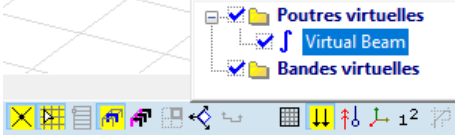


La même bande virtuelle avec affichage (à gauche) ou sans affichage (à droite) de la largeur de la bande.

Bouton rapide

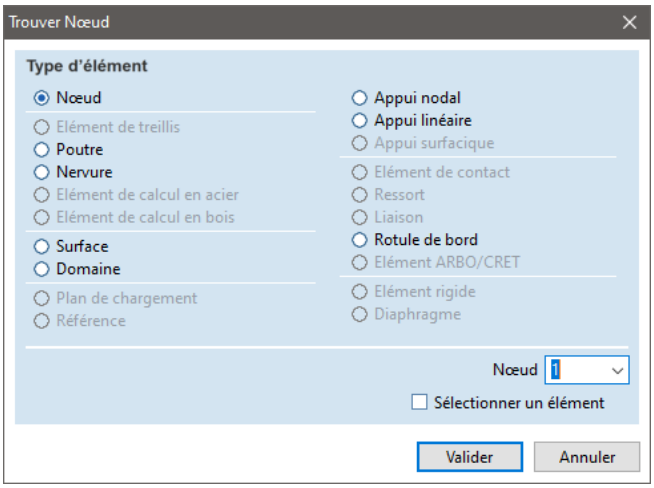


Un bouton rapide dédié en bas à droite permet d'activer/désactiver les poutres et les bandes virtuelles.



2.16.17. Trouver

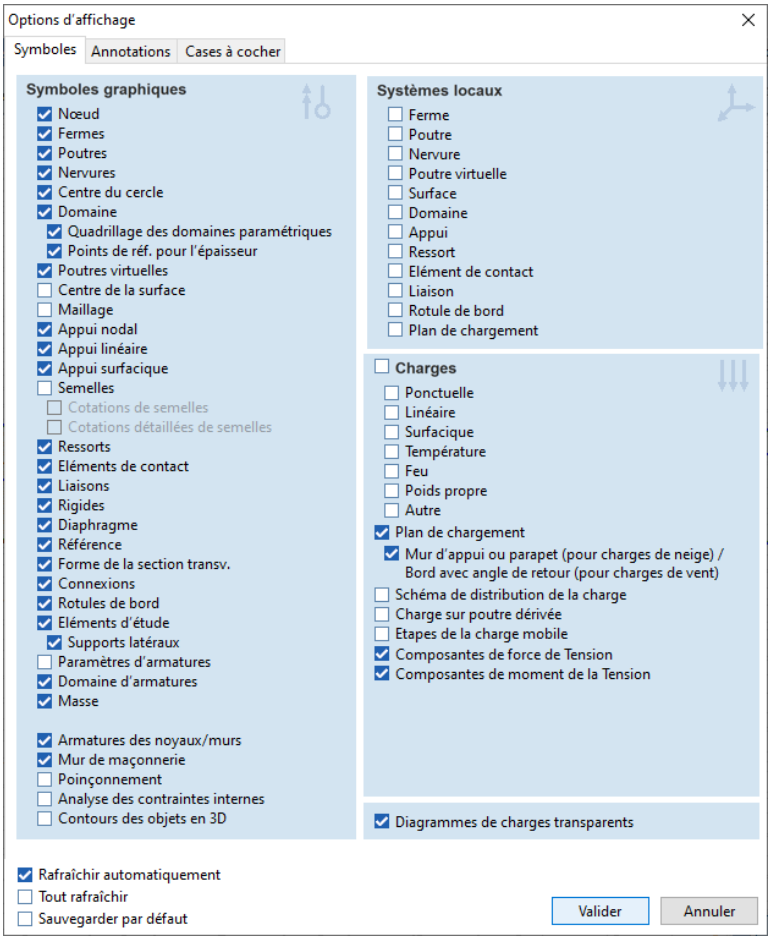




Trouve l'entité ayant un index spécifié, et déplace le curseur sur celui-ci.
Si l'option *Sélectionner l'élément* est activée, l'élément trouvé sera également sélectionné (affiché en violet).

2.16.18. Options d'affichage





Symboles

Active/désactive l'affichage des symboles.

Les symboles courants peuvent être activés/désactivés à l'aide d'un bouton rapide. 
Les symboles peuvent être personnalisés. Voir *Paramètres / Préférences / Symboles graphiques.*



Symboles graphiques

- Lorsqu'elles sont désactivées, les lignes de maillage générées ne sont pas affichées.

Nœud

Permet l'affichage des nœuds (petits rectangles noirs).

Fermes, poutres, nervures

Permet l'affichage des éléments linéaires

Poutres virtuelles

- L'axe de la poutre virtuel est dessiné comme une ligne épaisse de couleur marron clair.

Centre du cercle

- Permet d'afficher le centre des cercles comme une petite croix.

Domaine

Permet l'affichage du contour du domaine.

- La couleur du domaine est la même que celle du type surfacique.
  Codes de couleur : plaque = rouge, membrane = bleu, coquille = vert.

Lignes guides de domaines paramétriques

- Les lignes guides sont affichées dans la couleur du type de surface. Les lignes guides des domaines nervurés paramétriques ou des domaines nervurés composites sont des lignes épaisses, les lignes des dalles à noyau creux sont des lignes fines en pointillés

Points de référence de l'épaisseur

- Les points de référence de l'épaisseur spécifiés lors de la définition de domaines d'épaisseur variable sont représentés par de fines croix x dessinées avec une ligne pointillée brune et reliées par de fines lignes pointillées brunes. La valeur de l'épaisseur n'est affichée que si l'option Propriétés / Épaisseur de l'onglet Étiquettes est activée.

Centre de la surface

Permet l'affichage du point central (point de sélection) des éléments surfaciques.

- Codes de couleur : plaque = rouge, membrane = bleu, coquille = vert.

Maille

Permet l'affichage des lignes de la maille intérieure.

Appui nodal

Permet l'affichage des appuis nodaux.

- Les appuis nodaux apparaissent comme des axes épais.
  Codes de couleur : déplacement axial=jaune, rotation axiale= orange.

Appui de bordure

Permet l'affichage des appuis de bordures.

- Les appuis de bordures apparaissent comme un bord épais.
  Codes de couleur : déplacement axial=jaune, rotation axiale= orange.

Appui surfacique

Permet l'affichage des appuis surfaciques.

- Les appuis surfaciques apparaissent comme un hachurage brun clair.

Semelle

- Les semelles conçues dans l'onglet Étude B.A. apparaissent avec leur forme et leur taille calculées ou spécifiées.
  Cotations
  - Permet l'affichage des cotations des semelles

Liaisons

Permet l'affichage des éléments de liaisons.

- *Les éléments de liaison de nœud à nœud* sont affichés sous forme linéaires vertes continues avec une flèche indiquant l'emplacement du lien.
  Les éléments de liaison ligne à ligne sont affichés sous forme linéaires vertes continues avec une flèche indiquant l'emplacement de la liaison et des lignes vertes en pointillés aux extrémités de la ligne.

Rigides

- Permet l'affichage des corps rigides. Ils apparaissent sous la forme d'épaisses lignes noires.

Diaphragme

- Activation de l'affichage des diaphragmes sous forme linéaires violettes épaisses et pointillées.

Référence

Permet l'affichage des références.

- Vecteur rouge, réticule ou triangle.

Forme de la section transversale

Permet l'affichage de la forme de la section transversale des fermes/poutres/nervures

- Les sections transversales définies par l'utilisateur seront affichées sous la forme de rectangles qui circonscrivent la forme des sections transversales.

Connexions de poutre

Permet l'affichage de la connexion des poutres et des rotules de bord.

Connexions de poutres

- Cercle bleu : rotule / rouleau
  Cercle bleu + croix rotule semi-rigide croisée
  Cercle rouge : rotule sphérique
  Cercle bleu solide : rotule en plastique

Rotules de bord

- Des cercles sur les bords.

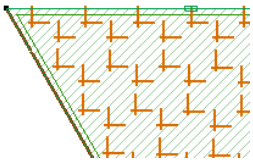
Eléments de structure

Permet d'afficher les éléments de conception en acier ou en bois.

- Une ligne orange le long du membre et le numéro du membre.

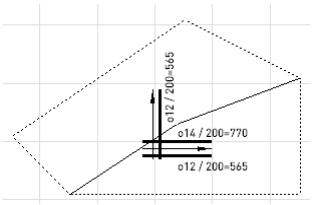
Paramètres d'armatures

- Permet l'affichage de deux lignes droites se croisant au centre de la surface où des paramètres d'armatures sont attribués. La direction de ces lignes indique les directions d'armatures définies. (Voir... *6.5.1. Paramètres des armatures surfaciques et calcul des armatures - module RC1*).



Domaine d'armatures

- Permet l'affichage des domaines d'armatures indépendants du maillage sous forme de contours bruns en pointillés.
  Les armatures x et y supérieures et inférieures sont également affichées. Deux sommets du polygone sont reliés au centre par des lignes brunes.



Masse

Permet l'affichage du symbole des masses ponctuelles.

- Double cercle rouge.

Les éléments de l'ARBO-CRET

Les éléments Aschwanden ARBO-CRET sont placés dans le projet.

- Un dessin schématique de l'élément est affiché.

Éléments d'AIRDECK

Les éléments AIRDECK placés dans le projet.

- Les formes vides sont affichées sous forme de cercles en mode fil de fer et de boules en mode rendu.

Armatures des noyaux / murs

Pour une description détaillée, voir... *6.5.15 Étude de noyaux et de murs en B.A. - module RC5*

Paramètres d'analyse Contrainte - effort

- Les éléments structuraux avec les paramètres de contrainte-déformation sont affichés dans la fenêtre principale avec des lignes en zigzag.

Contours d'objets en 3D

Affiche le modèle statique avec un aspect filaire 3D (la section transversale, l'épaisseur et l'excentricité peuvent être vérifiées). Les couleurs dépendent du type d'architecture (poteau, poutre, mur, dalle).

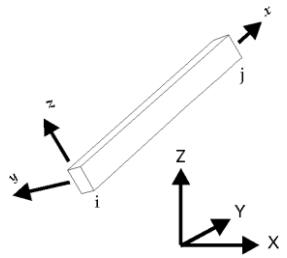
Contours d'objets en 3D

Affiche un projet statique avec un aspect filaire en 3D (la section transversale, l'épaisseur, l'excentricité peuvent être vérifiées). Les couleurs dépendent du type d'architecture (poteau, poutre, mur, dalle).

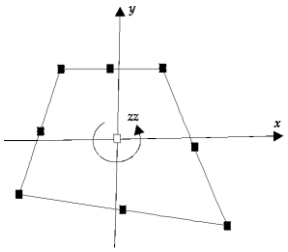


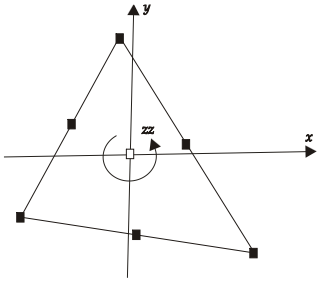
Systèmes locaux

Permet l'affichage des axes des éléments dans le système de coordonnées local.



Système de coordonnées locales des éléments de poutre



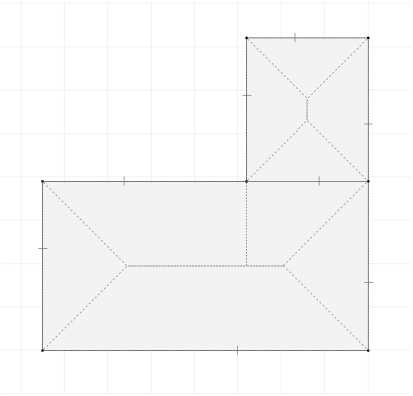


Systèmes de coordonnées locales des éléments surfaciques



Chargements

L'affichage des symboles de charge peut être réglé séparément pour chaque type de charge (concentrée, répartie sur une ligne, répartie sur une surface, température, poids propre, charge mobile, divers (changement de longueur, tension / compression).
Pour afficher la répartition des charges surfacique sur les poutres (voir le diagramme de droite), consultez *Répartition* des charges. Pour afficher les charges de poutre dérivées, cochez *Charge de poutre dérivée*.



Plan de chargement

Les contours des plans de chargement sont d'épaisses lignes turquoise en pointillés. Si les plans de chargement sont attachés à des domaines, de petits rectangles apparaissent le long du contour montrant le lien.

Mur d'appui ou parapet (pour les charges de neige)

Les bords des plans de chargement avec un mur adjacent ou un parapet peuvent être sélectionnés lors de la définition des charges de neige. Ces bords sont affichés avec un rectangle brun clair le long du bord.

Charge sur poutre dérivée

Affichage des charges de poutre dérivées

Phases de la charge mobile

Si cette option est activée, toutes les phases des charges mobiles sont affichées en gris. Si cette option est désactivée, la charge mobile est affichée uniquement dans la position déterminée par le cas de charge actuel.

Rafraîchir Automatiquement

Si elle est activée, toute modification des paramètres entraîne le ré-étude immédiat du panneau actif.

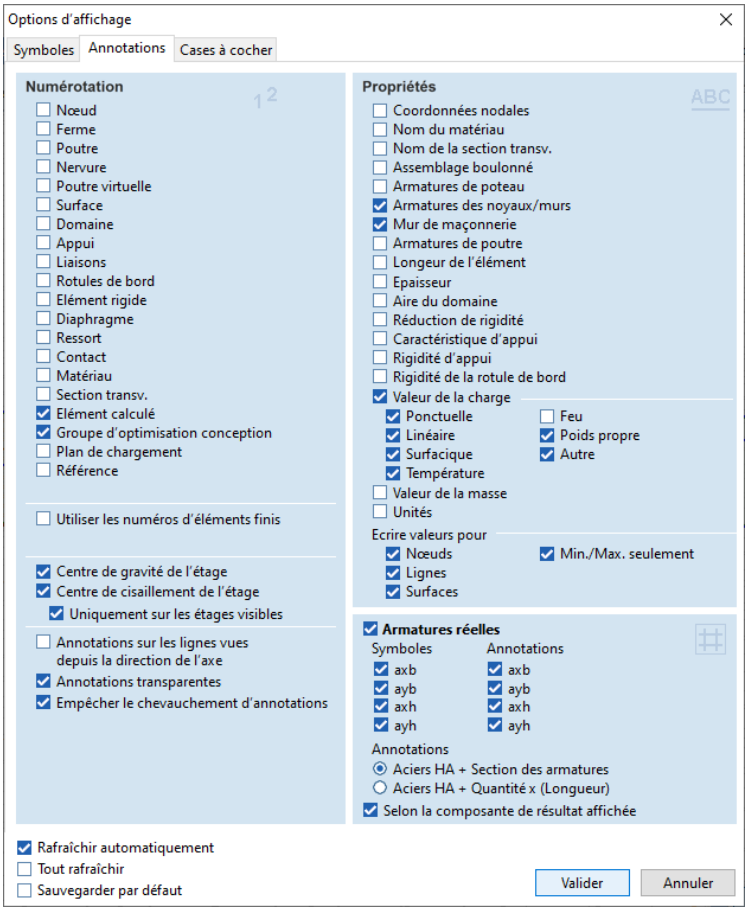
Tout rafraîchir

Les changements affecteront tous les panneaux en mode multifenêtre.

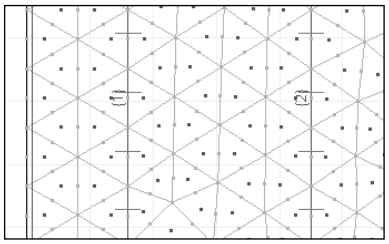
Sauvegarder par défaut

Enregistre les paramètres actuels des options d'affichage des symboles comme paramètres par défaut pour les nouveaux projets.

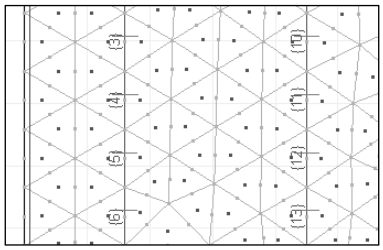
Annotations



Numérotation



Affichage du nombre de nœuds, d'éléments, de matériaux, de sections transversales, de références.



Pour la vérification des éléments linéaires maillés, la fonction *Utiliser les numéros d'éléments finis* affiche le nombre d'éléments finis à la place.

Utiliser les numéros d'éléments finis

En cochant cette case, on remplace les numéros des éléments de structure sur les diagrammes par des numéros d'éléments finis. Les tableaux affichent également les résultats sur la base des éléments finis et non des éléments structuraux.
Voir... *3.2.14. Assembler éléments de construction, 3.2.15. Dissocier éléments de construction*

Annotations sur les lignes vues depuis la direction de l'axe

Cocher/décocher les annotations sur les lignes vues depuis *direction de l*'axe active/désactive les annotations sur les lignes vues dans la direction de leur axe (vues comme des points).

Annotations transparentes

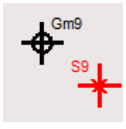
Si cette option est cochée, toutes les annotations sont transparentes. Sinon, les annotations sont dessinées sur un rectangle rempli de la couleur de fond.

Empêcher le chevauchement d'annotations

Si cette option est cochée, le programme empêche le chevauchement des annotations en déplaçant et en masquant les annotations moins importantes. Dans ce dernier cas, le zoom peut augmenter le nombre d'annotations visibles. Si un grand nombre d'annotations doit être affiché, cette optimisation peut prendre beaucoup de temps.

Centre de gravité de l'étage

Permet l'affichage du centre de gravité de chaque étage. AxisVM convertit les charges des cas de charge utilisés pour calculer les formes de vibration pour l'analyse sismique en masses puis calcule le centre de gravité de chaque étage. Les centres sont affichés en noir +s dans des cercles noirs avec une annotation Gmi où i est le numéro du niveau.



Si l'option Seulement sur les étages visibles est cochée, les points centraux des étages cachés ne sont pas affichés.

Centre de cisaillement d'étages

Le centre de cisaillement de l'étage est déterminé à partir de sections transversales de mur au niveau de l'étage. La méthode utilisée pour déterminer le centre de cisaillement des sections transversales de mur fin est utilisée
Permet d'afficher le centre de cisaillement de chaque étage. AxisVM calcule les centres de cisaillement des étages en trouvant les sections transversales de mur et en utilisant la même méthode que pour les sections transversales à mur fin.
Les centres sont affichés en rouge +s, avec une annotation *Si,* où *i est* le numéro du niveau.

Propriétés



Permet l'affichage du nom et des valeurs des propriétés des matériaux, des sections transversales, des longueurs ou des épaisseurs des éléments, des valeurs de charge, des masses, etc.
Si la case à cocher de l'option Unités est activée, les annotations comprendront également les unités.

Ecrire valeurs pour

Contrôle la façon dont les annotations de résultat sont placées sur le dessin.

Armatures réelles

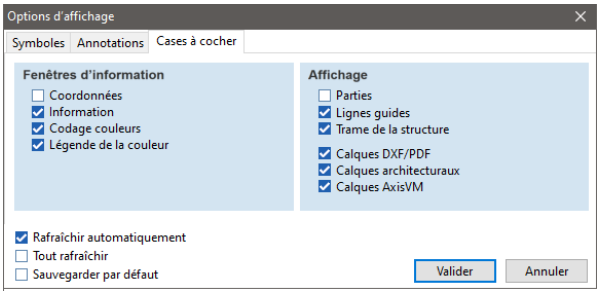


Permet d'annoter les armatures supérieures et inférieures dans les directions *x* et *y* indépendamment et définit le mode d'annotation.
Activer selon la composante de résultat affichée fait que l'armature actuelle est la seule composante affichée.

Case à cochers

Fenêtres d'information

Coordonnées
Voir... *2.19.1. Fenêtre de coordonnées*
Information
Voir... *2.19.2. Fenêtre d'information*
Codage couleurs
Voir... *2.19.3. Codage couleur*
Légende de la couleur
Voir... *2.19.4. Fenêtre de légende des couleurs*



Affichage

L'affichage des parties réelles et des lignes guides peut être activé et désactivé.

Parties	Active/désactive l'affichage des parties définies par l'utilisateur et des parties
Lignes guides	Active/désactive l'affichage des lignes guides.
Trame structurelle	Active/désactive l'affichage de la trame structurelle.
Calques DXF/PDF	Active/désactive l'affichage des calques de fond.
Calques architecturaux	Active/désactive l'affichage des objets architecturaux importés.
Calques AxisVM	Active/désactive l'affichage des calques définies dans AxisVM.

2.16.19. Options de modèle



Permet de sélectionner les options de réglage de la trame, du curseur, de l'édition, des paramètres de dessin

2.16.19.1. Trame et curseur

Trame

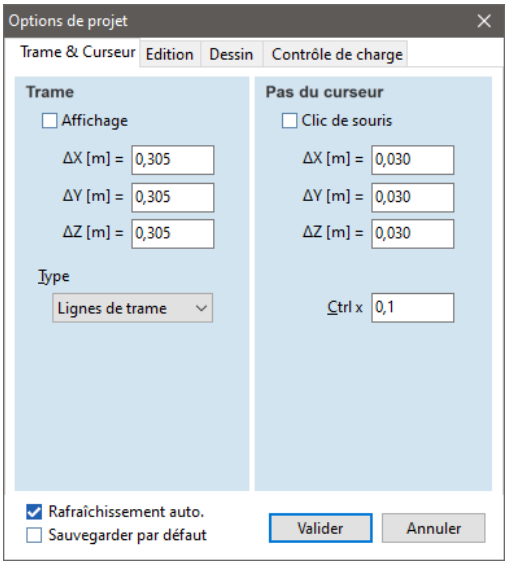
La trame est constituée d'un maillage régulier de points ou linéaires et vous aide à positionner le curseur pour fournir une référence visuelle. Selon son *type,* la trame est affichée sous la forme

Trame de points - les axes sont affichés avec des croix jaunes, les points en gris.

Lignes de trame - les axes sont affichés en jaune, les lignes en gris.

Affichage - Affiche ou cache la trame.

ΔX, ΔY, ΔZ - Définit l'espacement des points/lignes de la trame dans la direction X, Y ou Z.



Pas du curseur

Permet de choisir les coordonnées d'un maillage de points invisibles (et non la trame).

Vous pouvez définir les paramètres des étapes du curseur comme suit :

Clic de souris - Limite le mouvement du curseur de la souris à une trame invisible spécifiée par les valeurs de pas de curseur ci-dessous.

ΔX, ΔY, ΔZ - Limite le mouvement du curseur à des intervalles réguliers. Chaque fois que vous appuyez sur une touche de déplacement du curseur, celui-ci se déplace d'un pas (X, Y ou Z) dans la direction correspondante (X**,** Y ou Z respectivement).

Ctrl x Définit la valeur d'un facteur qui augmente ou diminue la taille des pas du curseur si vous appuyez sur la touche **[Ctrl]** lorsque vous déplacez le curseur. Cela Cette commande vous permet d'obtenir une précision de positionnement adéquate.

☞ **Le pas de curseur est ignoré si vous positionnez le curseur sur une ligne non parallèle aux axes de coordonnées globales. Dans ce cas, le curseur se déplacera le long de la ligne.**
Si la tolérance d'édition est supérieure au pas du curseur, la souris suivra une trame invisible spécifiée par la tolérance d'édition.

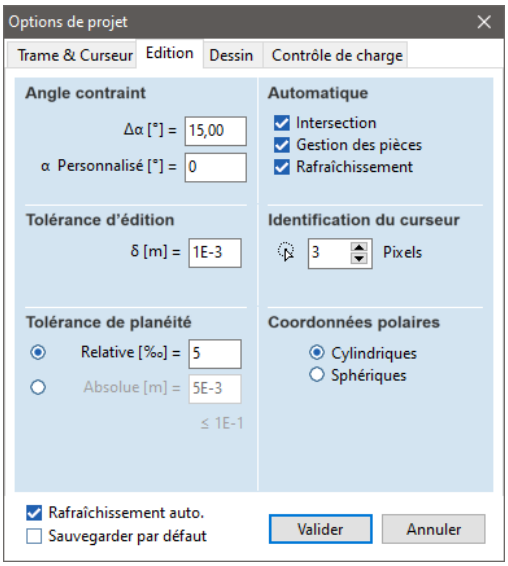
En cas d'exploitation avec des contraintes, le pas du curseur est appliqué dans le sens contraint avec la valeur DX. Voir... *4.7.4. Mouvements contraints du curseur*

☞ **Si le pas de la trame et le pas du curseur sont réglés sur la même valeur, les nœuds seront placés de manière à être accrochés à la trame.**

2.16.19.2. Edition

Angle contraint

Pendant l'édition du projet, le mouvement du curseur peut être limité.
En utilisant la touche **[Maj]** tout en déplaçant le curseur, la direction du mouvement peut être définie. Dans ce cas, le mouvement contraint du curseur sera basé sur deux types d'angles (pour d'autres types de mouvements contraints, voir... *4.7.4. Mouvements contraints du curseur*).



Automatique Définit les commandes qui sont appliquées automatiquement si la case à cocher correspondante est activée.

Intersection

Règle la gestion des intersections linéaires. Aux points d'intersection des lignes, un nœud sera généré et les lignes seront coupées en deux. Si des surfaces sont coupées par des lignes, elles seront divisées, et les éléments résultants auront les mêmes propriétés de matériau et de section transversale que l'original.

Gestion des parties :

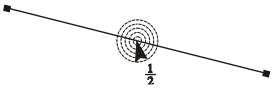
Toute entité dessinée ou modifiée après l'activation de la case à cocher sera associée à toutes les parties actives.

Rafraîchissement

Règle le mode de rafraîchissement de l'affichage sur automatique.

Tolérance d'édition Si deux nœuds sont plus proches que la valeur fixée comme tolérance d'édition, ils seront fusionnés dans le cas d'un contrôle de maillage. Cette valeur est également utilisée lors de la comparaison de l'épaisseur de la surface ou de la longueur de la poutre.

Identification du curseur



L'élément sous le curseur est identifié s'il se trouve à une distance d'identification du curseur réglable. L'unité de la distance d'identification du curseur est le pixel.

Si plus d'un élément se trouve dans cette fourchette, le plus proche sera identifié.

Voir... *4.7.1. Identification du curseur*

Tolérance de Planéité Les nœuds de domaines et les surfaces doivent être dans le même plan. Si un nœud d'un domaine ou d'une surface s'écarte de ce plan plus que la valeur donnée, l'élément sera supprimé. La tolérance de plan peut être spécifiée de deux façons :

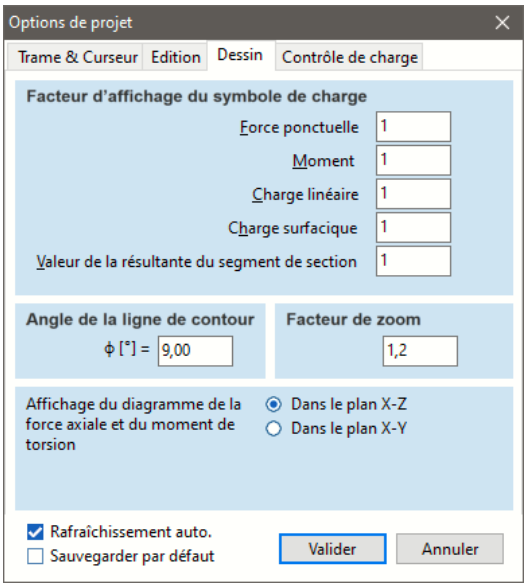
Relative [‰]	pour mille de la plus grande extension du polygone des éléments
Absolue	Une valeur *absolue [m]* estdonnée

Coordonnées polaires Cylindrique ou sphérique.

Voir... *4.3.2. Système de coordonnées polaires*

2.16.19.3. Dessin

Facteur d'affichage du symbole de charge Définit la taille d'affichage des symboles de chargement. Ce facteur est appliqué lorsque la case à cocher dans l'icône Symboles / Symboles graphiques / Charger est activée. Ces valeurs n'affectent pas les valeurs de chargement.



Effort

Définit la taille d'affichage du symbole des charges de "force" ponctuelles.

Moment

Définit la taille d'affichage du symbole des charges de "moment" ponctuelles.

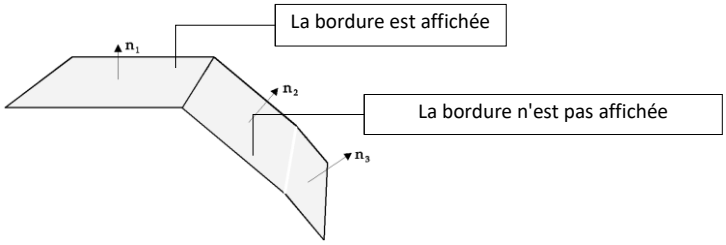
Charge linéaire / surfacique

Définit la taille d'affichage du symbole des charges linéaires / surfaciques.

Valeur de la résultante du segment de section transversale

Ce facteur détermine la taille de la flèche représentant la valeur résultante sur un segment de section transversale.

Angle de la ligne de contour Définit l'affichage des lignes de mailles intérieures (entre les éléments surfaciques adjacents). Le bord commun de deux ou plusieurs éléments surfacique est affiché si l'angle formé par la normale aux plans des éléments est supérieur à la valeur définie ici.

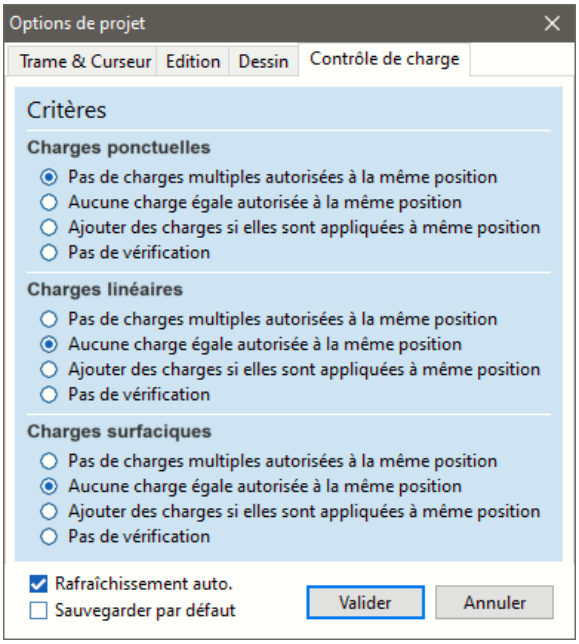


Facteur de zoom Définit l'échelle d'agrandissement/réduction des commandes de zoom associées aux boutons **[+]** et **[-]** clés.

Affichage du diagramme de la force axiale et du moment de torsion Jusqu'à la version 12, les diagrammes de force normale et de moment de torsion étaient toujours dessinés dans le plan x-z local. À partir de la version 13, ils peuvent également être établis dans le plan local x-y.

2.16.19.4. Vérification du chargement

Critère Les critères de vérification des chargements peuvent être définis ici. Ces contrôles sont exécutés automatiquement après la définition des charges. La catégorie Charges ponctuelles se réfère aux charges nodales et aux charges concentrées sur les éléments de ligne ou les domaines, la catégorie Charges linéaires se réfère aux charges linéaires appliquées aux éléments de ligne ou aux domaines, tandis que les charges surfaciques comprennent les charges de surface placées sur les domaines ou les panneaux de charge.



Options :

Aucune charge multiple n'est autorisée à la même position

Si une charge est placée sur la position d'une charge existante, elle est supprimée.

Pas de charges égales autorisées à la même position

Si une charge est placée sur la position d'une charge existante ayant la même intensité, elle est supprimée.

Ajout de charges si elles sont appliquées à la même position

Si une charge est placée sur la position d'une charge existante, elle n'est pas créée mais son intensité sera ajoutée à l'intensité de la charge existante à la place.

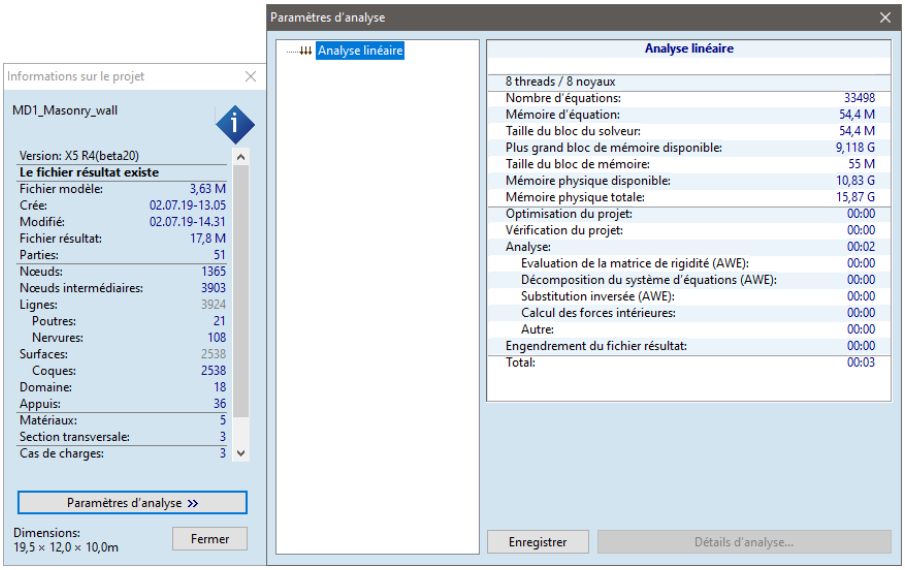
Pas de contrôle

Un nombre quelconque de charges peut être défini à la même position

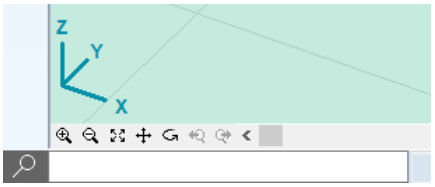
2.16.20. Informations sur le projet



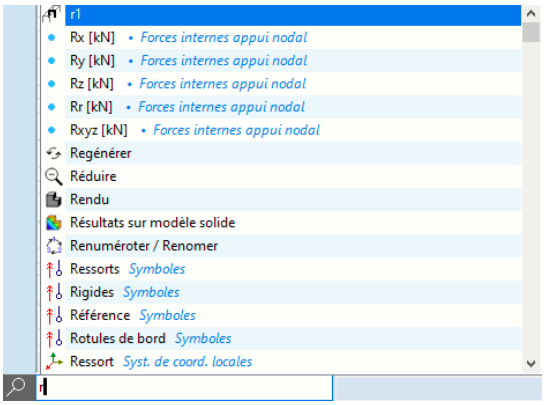
Affiche les principaux paramètres du projet.
En cliquant sur le bouton *Paramètres d'analyse,* certains paramètres de la dernière analyse (exploitation de la mémoire durée d'exécution) peuvent être étudiés. Cette information n'est disponible que si le projet a été analysé par la version 10 ou ultérieure.

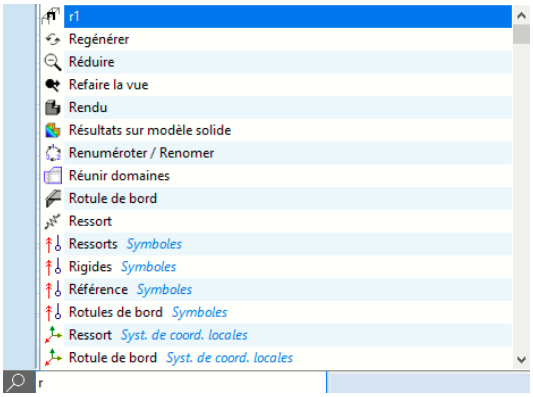


2.17. Ligne de commande intelligente



La plupart des commandes et des paramètres d'AxisVM sont disponibles directement à travers un champ de recherche simple appelé ligne de commande intelligente. Cliquez dans le champ d'édition ou appuyez sur Ctrl+F pour voir les commandes et les paramètres correspondant aux caractères saisis. Cette fonction trouve les lettres tapées également à l'intérieur des expressions mais les éléments commençant par celles-ci apparaissent en haut de la liste.
La gamme des commandes disponibles dépend de l'onglet actif (par exemple, les composants de résultat sont disponibles sur l'onglet Statique mais pas sur l'onglet Charge alors qu'un cas de charge peut être sélectionné sur les deux).





Certaines touches ont une fonction particulière

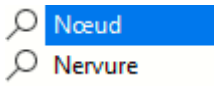
↑ ↓	Se déplacer vers le haut ou vers le bas dans la liste.
Enter	Activer la commande pour l'élément sélectionné
Esc	Annuler la recherche

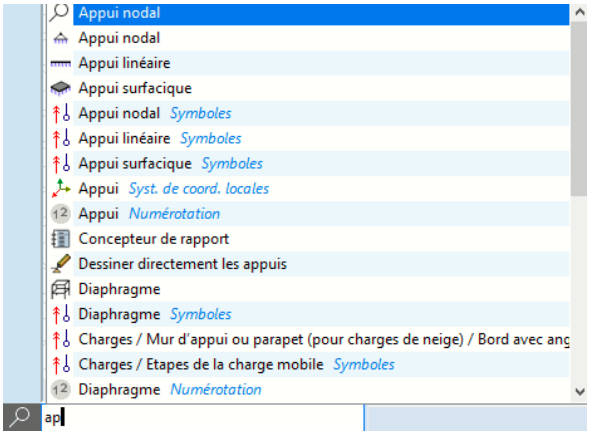
La liste comprend les commandes et les paramètres suivants :

- Toutes les commandes du menu principal, de la barre d'icônes, de la fenêtre de coordonnées, etc. auxquelles un raccourci clavier peut être attribué.
- Tous les symboles, étiquettes et commutateurs configurables dans la boîte de dialogue Options d'affichage *(2.16.18 Options d'affichage)*
- Cas de charge (sur l'onglet Charges ou sur les onglets de résultat ou de conception)
- Situations de charge des composants du résultat (sur les onglets affichant les résultats)
- Paramètres disponibles dans *Paramètres / Préférences* (*3.3.11 Paramètres*)
- Options du modèle disponibles dans *Paramètres / Options de modèle* (*3.3.2 Options du projet)*
- Les éléments peuvent être trouvés par leur numéro ou leur nom.
- Les éléments peuvent être sélectionnés avec ou sans critères de filtrage.

Trouver des Eléments

Exemple: Recherche du nœud 12.
Si vous entrez non, une liste de correspondances apparaît. Les commandes de recherche sont listées en haut de la liste. Si vous tapez un espace et **12**, vous obtiendrez les résultats suivants





En appuyant sur Entrée, vous sélectionnez le nœud 12 et y déplacez le pointeur de la souris. En bref, vous pouvez trouver le nœud 12 en tapant no **12** [Entrée].

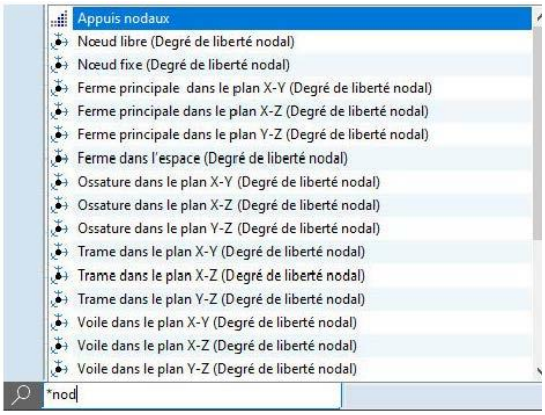
Comme la ligne de commande intelligente trouve le terme à l'intérieur des expressions, le support nodal 5 peut également être trouvé en tapant **sup 5** [Entrée], en profitant du fait que le support nodal apparaît en haut de la liste après avoir réduit les correspondances.

Sélection

Il est également possible de sélectionner ou de désélectionner certains éléments à partir de la ligne de commande smart. Si les pièces sont activées, ces commandes ne fonctionnent que sur les parties visibles.

Simple sélection

Si le premier caractère est *, la liste affiche uniquement les éléments sélectionnables et la commande sélectionnera l'élément choisi.
Si vous tapez *- au début, vous désélectionnez l'élément choisi.
Pour tout sélectionner, tapez *[Entrée], pour tout désélectionner, tapez *-[Entrée].
Pour sélectionner tous les nœuds, tapez *no [Entrée].
Les nœuds ayant un degré de liberté donné peuvent également être sélectionnés. La sélection d'autres éléments comme les poutres, les fermes, les nervures, les domaines fonctionne de la même manière.



Sélection par une propriété

Tapez * et commencez à taper le nom d'un matériau ou d'une section transversale (ou tapez **mat** ou **cr**) pour sélectionner les éléments faits d'un certain matériau ou ayant une certaine section transversale. En tapant ***Nervure inférieure**, ***Nervure dans le plan médian**, ***Nervure supérieure**, les nervures appropriées peuvent être sélectionnées. Il suffit de taper les premiers caractères de ces expressions et de choisir dans la liste. De même, en tapant ***Section transversale variable**, on sélectionne ces éléments linéaires, tandis qu'en tapant ***Epaisseur variable**, on sélectionne ces domaines. Les domaines d'un type particulier peuvent également être sélectionnés en tapant *Nervuré, ***Noyau creux**, ***Dalle composite nervurée**, ***Tablier métallique trapézoïdal**, ***XLAM**, ***matrice de rigidité personnalisée**. Le type architectural peut également être utilisé (***Poteaux**, ***Poutres**, ***Murs,** ***Dalles**).

Sélection par un paramètre

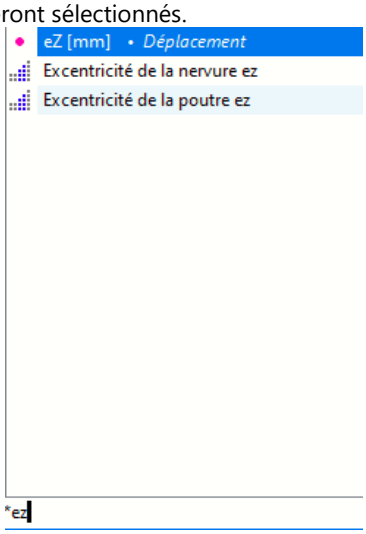
Les éléments peuvent également être sélectionnés par une valeur de paramètre. Un exemple : Sélectionner les éléments linéaires de plus de 5 m.
Après avoir tapé ***le** [Entrée] la ligne de commande devient *Longueur (m) et la liste est remplacée par un message d'aide

Type the filter condition then press Enter.
Examples: >0, >=10, <>20, =30, <=40, <50

Continuez à taper pour obtenir ***Longueur (m)** > 5 [Enter]. Les éléments linéaires appropriés seront sélectionnés.
La condition peut inclure l'un des symboles >, >=, <>, =, <= et < et une valeur numérique.
Les paramètres pris en charge sont : ***Longueur**, ***Excentricité de la poutre ey**, ***Excentricité de la poutre ez**, ***Excentricité de la flèche ey**, ***Excentricité de la flèche ez**, (éléments linéaires), ***Aire**, ***Épaisseur**, ***Excentricité** (domaines).

Sélection par valeur du résultat

Si l'onglet actif est Statique ou tout autre onglet de conception à droite, les éléments peuvent être sélectionnés par une valeur de composant de résultat. Les éléments appropriés correspondant à la condition dans chaque section transversale ou point d'élément fini seront sélectionnés.

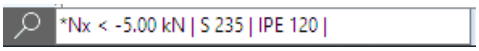


Un exemple: Sélectionnez les éléments pour lesquels eZ < 0.
Tapez ***ez** [Entrée]. La ligne de commande devient ***eZ [mm]**. Continuez à taper pour obtenir **eZ [mm] < 0** [Entrée]. Tous les nœuds, nœuds médians, centres de surface, poutres et nervures où la composante Z globale du déplacement est négative seront sélectionnés.
Si la vue active affiche déjà la composante eZ, la commande est encore plus courte. Il suffit de taper *<**0** [Entrée]. Si aucune composante de résultat n'est saisie, la composante de résultat actuelle est utilisée pour vérifier les valeurs.
Un autre exemple: Sélectionnez les éléments de conception défaillants dans l'onglet Conception acier.
*Tapez ****u**[Entrée]. La ligne de commande devient ****Exploitation []**. Continuez à taper pour obtenir ****Exploitation[] >1** [Entrée]. Tous les éléments de conception en acier pour lesquels l'utilisation est supérieure à 1 seront sélectionnés.*

Sélection par Critères multiples

Pour sélectionner des éléments sur la base de plusieurs critères, cliquez avec le bouton droit de la souris sur l'icône de la loupe et choisissez Sélection sur la base de plusieurs critères dans le menu contextuel. La saisie de plusieurs critères est plus complexe. Dans les cas simples, il est donc recommandé d'utiliser la sélection basée sur un seul critère.
Un exemple: Sélectionnez tous les poteaux où la force normale est inférieure à -5 kN.
Choisissez Sélection basée sur des critères multiples dans le menu contextuel. Tapez *co [Entrée]. Dans l'autre mode, cette commande sélectionnerait tous les poteaux. Mais maintenant la ligne de commande devient ***Poteaux** | en attendant d'autres conditions. En appuyant sur une autre touche [Entrée], tous les poteaux seront sélectionnés.
Continuez à taper ***Poteaux | nx**< pour obtenir ***Poteaux | Nx[kN]** <,
puis continuez ***Poteaux | Nx[kN] < -5** [Entrée].
Maintenant, un deuxième critère est ajouté : ***Poteaux | Nx < -5.00 kN |.**
C'est le dernier. En appuyant sur [Entrée], on sélectionne tous les poteaux où la force normale est inférieure à -5 kN.

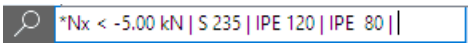
Interprétation de critères multiples



Les critères relatifs à différentes propriétés (comme ceux de la force normale, du matériau et de la section transversale) sont toujours reliés par un opérateur ET implicite, c'est-à-dire que tous les critères doivent être satisfaits. Les critères relatifs aux valeurs des composants du résultat sont également reliés par un opérateur ET implicite. La sélection d'éléments avec deux critères de résultat dans une relation OU ne peut être réalisée que dans deux sélections consécutives:



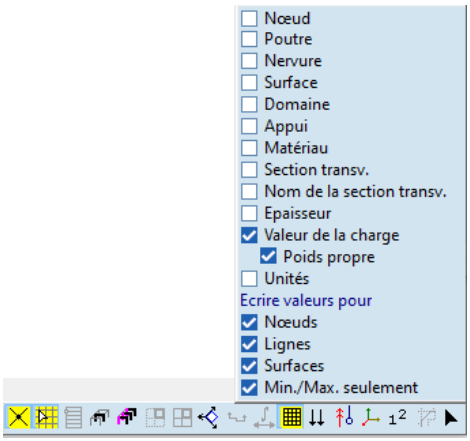
Les critères multiples pour les matériaux ou les sections transversales sont liés à un opérateur OU implicite dans leur catégorie (c'est-à-dire que les éléments ayant l'une des sections transversales saisies seront sélectionnés) mais sont en relation ET avec d'autres types de conditions. Par exemple



Sélectionne toutes les colonnes IPE 80 ou IPE 120 correspondant aux autres critères.

2.18. Boutons rapides

La barre d'outils des cases à cocher rapides Cette commande vous permet de modifier les paramètres d'affichage sans entrer dans la boîte de dialogue *Option d'affichage / Symboles* ou *Options de modèle.* Les icônes sont situées dans le coin inférieur droit de la zone graphique.




Intersection automatique


Clic de souris activé. / désactivé.

Accrochage de la souris à la grille


Étages


Parties


Activer les parties définies par l'utilisateur qui contiennent les éléments sélectionnés


Afficher seulement les élément sélectionnés


Masquer les éléments sélectionnés


Plans de travail


Montrer / cacher les sections


Poutres et nervures virtuelles


Affichage du maillage : activé / désactivé


Afficher les symboles de charge


Symboles d'affichage


Systèmes locaux



Numérotation


Calques de fond (visibilité, détection, verrouillage)

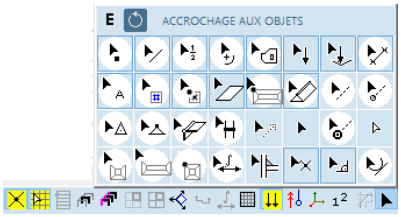

Voir *3.6.2. Fenêtres d'information*

☞ **Certains de ces paramètres sont également disponibles à partir des icônes Affichage et Options.**

2.18.1. Accrochage aux objets



Placez la souris sur l'icône pour ouvrir les commutateurs d'accrochage d'objets. Les accrochages d'objets activés dans l'opération en cours ont un cercle blanc en arrière-plan. Pour la liste des formes de curseur, voir *4.7.1 Identification du curseur* Les commutateurs permettent de désactiver/activer des fonctions d'accrochage individuelles. Les objets désactivés seront ignorés par le curseur de la souris, les objets activés seront toujours détectés quelle que soit l'opération effectuée.



Le premier clic sur une forme du curseur désactive l'accrochage (fond rouge), le deuxième clic l'active (fond vert), le troisième rétablit l'état par défaut.



Fonction accrochage désactivée



Fonction accrochage activée



Accrochage par défaut en fonction de l'opération en cours

Cliquez sur E pour définir un accrochage exclusif. Seul l'instantané sur lequel vous cliquez sera détecté. L'arrière-plan de la fonction d'accrochage choisie devient jaune.





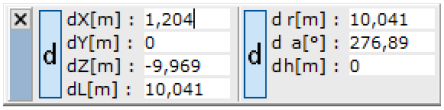
Ce bouton réinitialise l'accrochage de l'objet à l'état par défaut (dépend de l'opération en cours).

Le cadre bleu autour de la forme du curseur signifie que le curseur est associé à plusieurs objets. La forme du curseur pour une ligne peut indiquer la détection d'une ligne de structure, d'une ligne sur le modèle architectural ou d'une couche de fond.

2.19. Fenêtres d'information

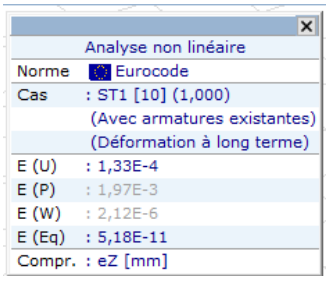
Les fenêtres d'information sont situées dans la zone graphique. Vous pouvez déplacer ces fenêtres sur l'écran en cliquant sur la barre de titre, en maintenant le bouton gauche de la souris enfoncé et en le faisant glisser vers un nouvel emplacement sur l'écran.

2.19.1. Fenêtre de coordonnées



Voir... *4.4. Fenêtre de coordonnées*

2.19.2. Fenêtre d'information



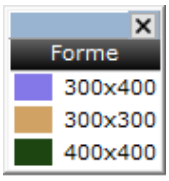
Affiche des informations sur l'affichage des résultats telles que: partie(s) active(s), réglage de la perspective actuelle, type d'analyse, code d'étude actuel, cas de charge actuel ou combinaison de charges actuelle, erreurs de solution, composante du résultat actuel.

Pour l'explication des paramètres E(U), E(P), E(W), E(EQ), voir...*5. Analyse* et *5.1. Analyse statique*. En cas de calcul géométrique non linéaire, un message d'avertissement apparaît si un problème de stabilité s'est produit dans l'incrément actuel. Voir... *5.1. Analyse statique*

En cas de calcul non linéaire prenant en compte les armatures, des formes courtes des messages d'avertissement d'armatures apparaissent également. Voir...*6.5.4. Analyse non linéaire des éléments de poutres et de poteaux* et *6.5.5 Analyse non linéaire des éléments de poutres et de poteaux en B.A.*. Le message d'avertissement apparaît si le problème s'est produit dans l'incrément actuel ou dans un incrément précédent.

Si plus d'une partie est activée, une liste des parties actives est affichée à condition que le nombre de parties ne dépasse pas une limite. Cette limite peut être fixée en cliquant avec le bouton droit de la souris sur la fenêtre d'information et en cliquant sur l'élément de menu *Paramètres*.

2.19.3. Codage couleur



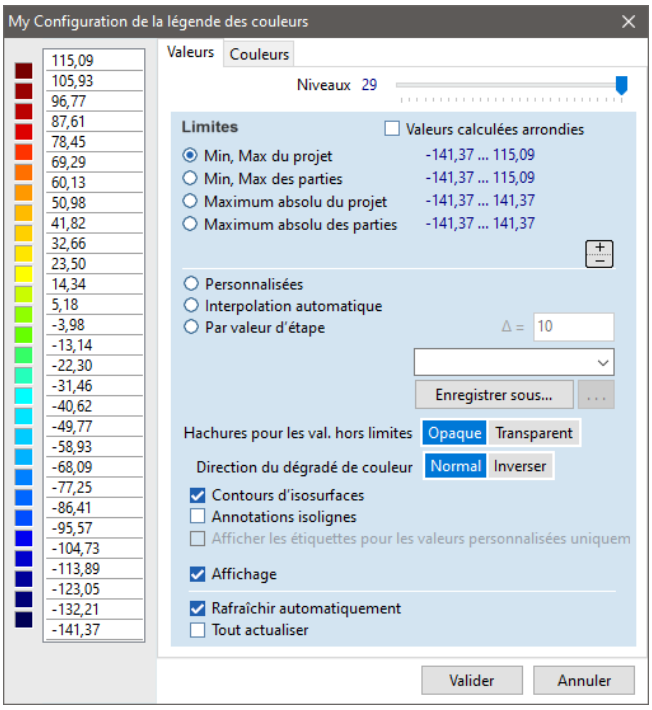
Cette fenêtre d'information apparaît après avoir activé un code de couleur (voir... *2.16.5. Codage couleur*), sauf si elle est désactivée dans le menu Fenêtre (voir... *3.6.2. Fenêtres d'information*).
Le type de codage est affiché dans la ligne d'en-tête de couleur noire.

2.19.4. Fenêtre de légende des couleurs

Légende des couleurs

Affiche la légende des couleurs correspondant à la composante de résultat affichée. Vous pouvez redimensionner la fenêtre et modifier le nombre de niveaux en faisant simplement glisser la poignée à côté de la zone d'édition du numéro de niveau ou en saisissant une nouvelle valeur. Les couleurs seront mises à jour immédiatement.

Configuration de la légende des couleurs



Vous pouvez définir les détails de la légende des couleurs dans la boîte de dialogue de configuration de la légende des couleurs. Pour ouvrir cette boîte de dialogue, il suffit de cliquer sur la fenêtre de la légende des couleurs.
Le premier onglet (Valeurs) permet de définir les plages de couleurs et quelques options d'affichage et d'étiquetage des résultats. Le deuxième onglet (Couleurs) permet d'attribuer des dégradés de couleur différents aux différents composants du résultat.

Valeurs

Limites

Fixer des critères pour les limites d'intervalle :

Min, max du projet
Fixe les valeurs limites inférieures et supérieures aux valeurs minimales et maximales de l'ensemble du projet. Les valeurs intermédiaires sont interpolées.

Min, max des parties
Fixe les valeurs limites inférieures et supérieures aux valeurs minimales et maximales des parties actives. Les valeurs intermédiaires sont interpolées.

Maximum absolu du projet
Fixe les valeurs limites inférieures et supérieures à la valeur maximale absolue de l'ensemble du projet avec les signes négatifs et positifs respectifs.
Les valeurs intermédiaires sont interpolées.

Maximum absolu des parties
Fixe les valeurs limites inférieures et supérieures à la valeur absolue maximale des parties actives avec les signes positifs et négatifs respectifs.
Les valeurs intermédiaires sont interpolées.

Valeurs calculées arrondies

Si les limites d'intervalle sont interpolées entre les valeurs minimales et maximales (aucune valeur personnalisée ou valeur d'échelon n'a été introduite), les valeurs interpolées peuvent être arrondies.



Séparation des plages positives et négatives

En appuyant sur le bouton, on crée deux plages : une pour les valeurs positives et une pour les valeurs négatives. Ce mode bicolore peut être utile pour afficher la différence d'armatures

Personnalisées

Cliquez sur un élément de la liste à gauche pour modifier sa valeur. Si vous êtes en mode édition, vous pouvez naviguer dans la liste à l'aide des touches ↑ et ↓ et modifier l'élément en cours. Lorsque vous cliquez sur VALIDER, la série de valeurs d'intervalle doit être monotone et décroissante de haut en bas.

Interpolation automatique

Si la case *Interpolation automatique* est cochée, la série sera recalculée chaque fois que vous entrerez une nouvelle valeur.

Si vous saisissez une nouvelle valeur supérieure ou inférieure, la série recalculée sera linéaire entre les valeurs supérieures et inférieures. Si vous saisissez une nouvelle valeur à un intervalle intermédiaire, la série recalculée sera bilinéaire, c'est-à-dire linéaire entre la valeur supérieure et la nouvelle valeur et entre la nouvelle valeur et la valeur inférieure, mais les étapes peuvent être différentes.

Par valeur d'étape

Les valeurs des couleurs sont déterminées par l'étape donnée⊿. Lors de la saisie d'une nouvelle valeur de niveau, les autres niveaux seront recalculés à l'aide de l'étape. Si l'on passe d'un autre critère à un autre, le tableau commence par la valeur la plus basse et utilise la dernière valeur d'étape.

Vous pouvez enregistrer les paramètres de l'échelle en utilisant le bouton *Enregistrer sous*. Pour revoir les paramètres enregistrés, cliquez sur le bouton **...**

Hachures pour les valeurs hors limites

Les hachures pour les valeurs hors limites peuvent être réglées sur *Opaque* ou *Transparent*.

Direction du dégradé de couleur

Permet de changer la direction du dégradé de couleur.

Contours d'isosurfaces

Si elle est cochée, une ligne de contour apparaît au niveau du contour des isosurfaces.

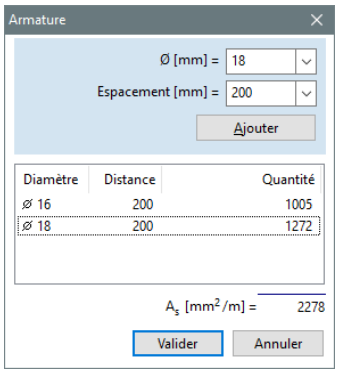
Annotations isolignes

Si elle est cochée, les isolignes sont étiquetées automatiquement.

Les paramètres de limite d'intervalle standard sont également disponibles directement dans le menu contextuel de la fenêtre de légende des couleurs. Pour activer le menu contextuel, cliquez sur le bouton droit de la souris dans la fenêtre.

Calculer

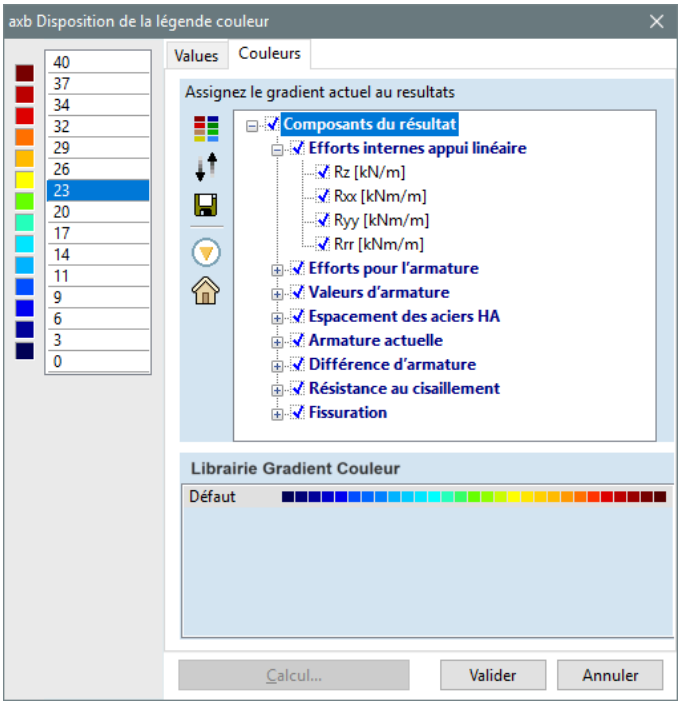
Lorsque vous affichez les valeurs des armatures cliquez sur *Personnaliser* et *Calculer pour* obtenir la quantité d'armature à partir des diamètres et des distances des aciers HA pour l'élément de liste sélectionné.



☞

Lors de l'affichage des schémas des armatures réelles, AxisVM n'attribue pas de couleur aux valeurs numériques mais à différentes configurations d'aciers HA. Il peut être configuré pour afficher tous les schémas ou seulement ceux des parties actives (visibles).

Couleurs



Les couleurs peuvent être modifiées en attribuant un dégradé de couleur aux valeurs. Un dégradé peut être attribué aux composantes du résultat, par exemple les déplacements - peuvent être affichés dans des couleurs différentes de celles des forces internes.
Le réglage d'un dégradé de la forme claire à la forme sombre peut aider à résoudre l'ambiguïté d'une sortie en échelle de gris.



Nouveau dégradé de couleur
Un nouveau dégradé de couleur peut être défini en faisant glisser les extrémités du dégradé à la position souhaitée.



Inverser le dégradé de couleurs
Change la couleur de début et de fin du dégradé.



Enregistrer le dégradé de couleurs dans la bibliothèque des dégradés de couleurs
Les dégradés peuvent être enregistrés dans une bibliothèque pour une exploitation ultérieure.



Enregistrer les dispositions actuelles du dégradé de couleurs comme valeur par défaut
L'affectation des composants des résultats actuels devient le paramètre par défaut des nouveaux projets.



Rétablir les dispositions par défaut du dégradé de couleurs
Définit les assignations de couleur par défaut pour les composants de résultat.

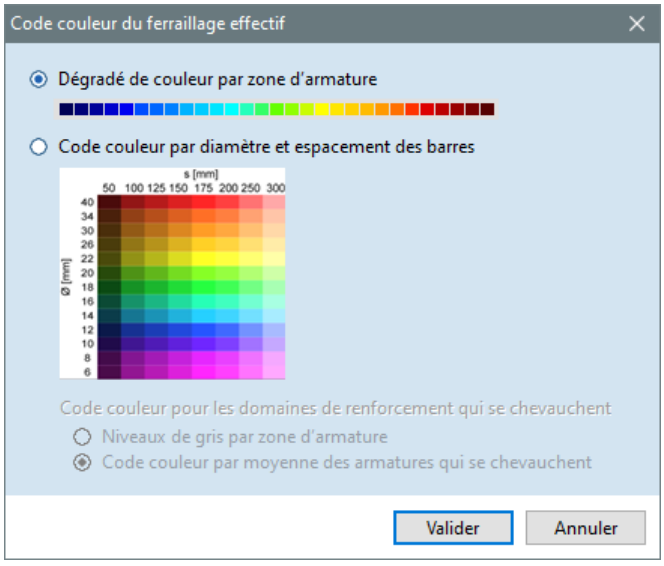
Cliquer sur un élément de la *bibliothèque de dégradés de couleur permet d*'appliquer le dégradé.

Codage couleur pour les plans d'armatures réelles

Si un élément d'armature réel *(xb, yb, xt, yb)* est affiché, la légende des couleurs énumère tous les schémas d'armature définis dans le projet au format suivant:

Ø16/200 (1005) [3.4],
c'est-à-dire
Ødiamètre/espacement *(zone des aciers HA) [couverture de béton]*.

Cliquez sur la légende des couleurs pour afficher les options de codage des couleurs pour les schémas d'armatures réels.



Dégradé de couleur par zone des aciers HA

Une couleur est attribuée au schéma en fonction de sa zone d'armature spécifique.

Codage couleur par diamètre et espacement des aciers HA

Une couleur est attribuée au schéma en fonction du diamètre et de l'espacement des aciers HA. La teinte dépend du diamètre et la luminosité dépend de l'espacement.
Si les domaines d'armature se chevauchent, la couleur de la zone de chevauchement peut être déterminée par l'une des méthodes suivantes :

Echelle de gris par zone de aciers HA

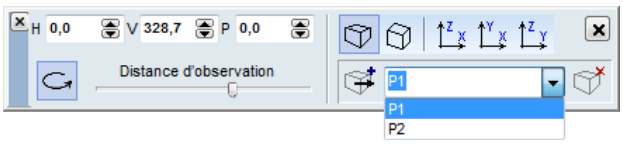
Une couleur grise est attribuée à la zone en fonction de la surface totale spécifique des aciers HA.

Codage couleur par moyenne des armatures qui se chevauchent

Un espacement et un diamètre moyens sont calculés comme suit

$$s = \frac{1}{\sum_i \left(\frac{1}{s_i}\right)}; \quad d = s \cdot \sum_i \frac{d_i}{s_i}$$

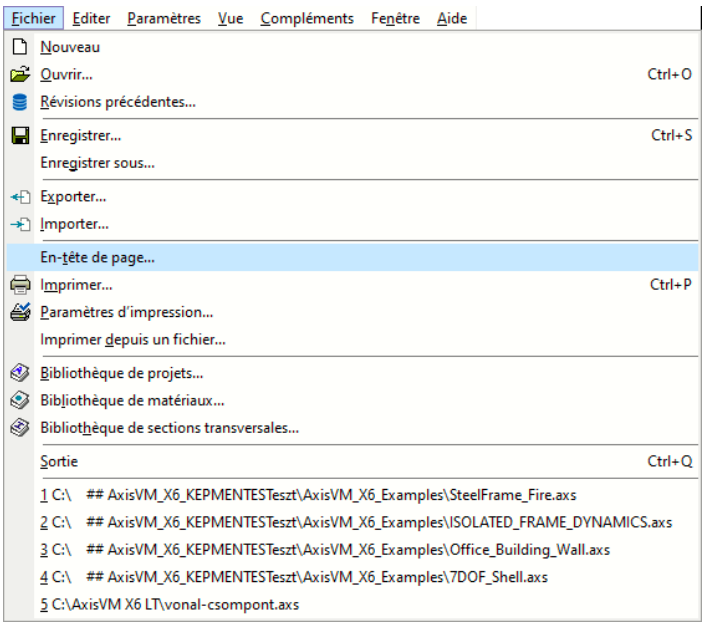
2.19.5. Outil de la fenêtre Perspective



Voir... *2.16.3. Points de vue*

3. Le Menu Principal

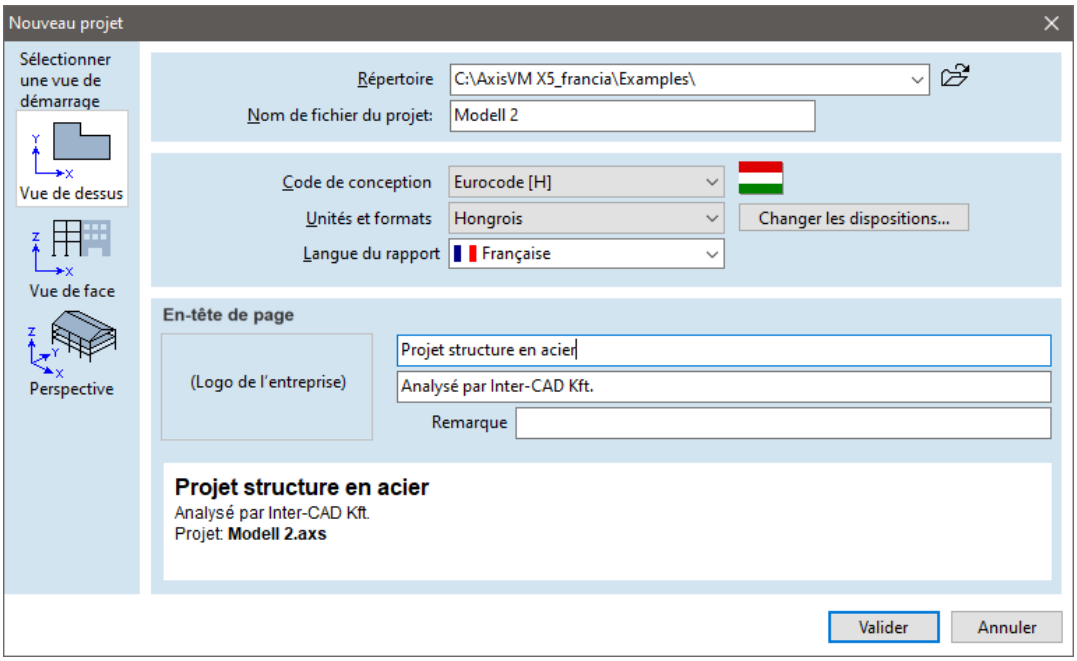
3.1. Fichier



Les commandes du menu sont décrites ci-dessous.

3.1.1. Nouveau projet

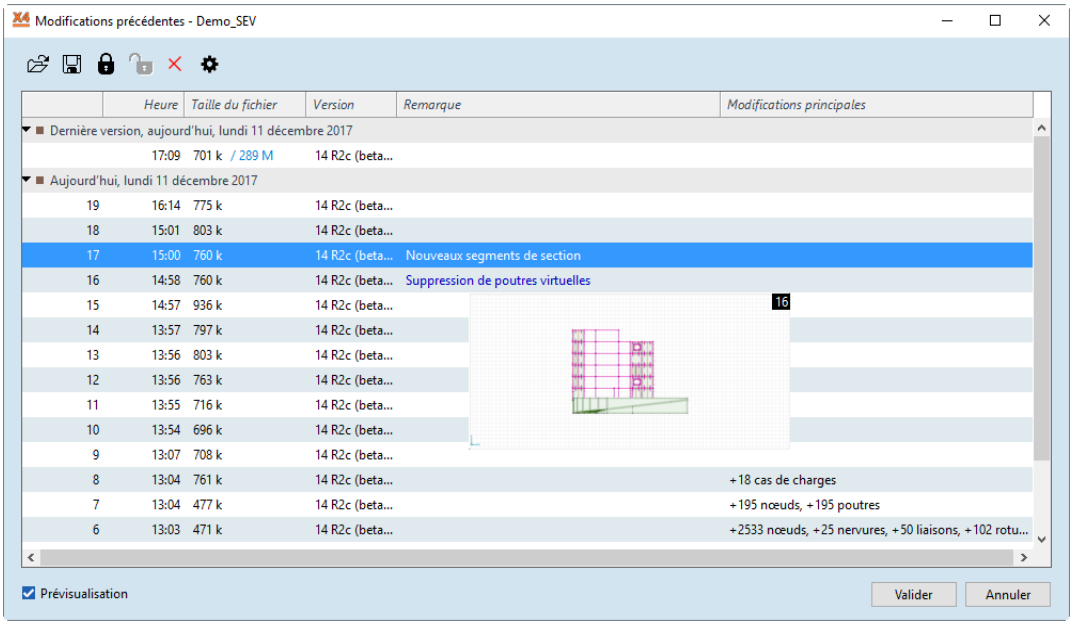




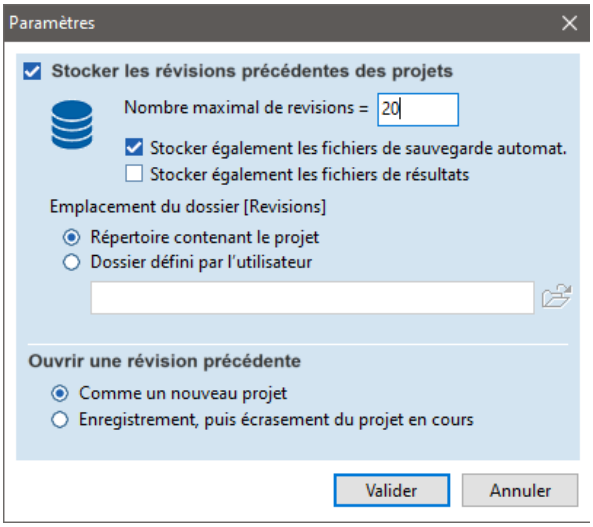
Crée un nouveau projet sans titre. Utilisez cette commande pour démarrer une nouvelle session de modélisation. Si vous n'avez pas sauvegardé le projet actuel, une invite apparaît pour vous demander si vous voulez le sauvegarder d'abord. Reportez-vous aux commandes "*Enregistrer*" et "*Enregistrer sous*" pour plus d'informations sur la manière de sauvegarder votre projet actuel.
Vous devez spécifier un nom pour le nouveau projet. Vous pouvez sélectionner la Norme et le système d'unités appropriés. Vous pouvez entrer des informations spécifiques dans la section transversale "Titre", qui apparaîtra sur chaque page imprimée. Un nouveau projet utilise les paramètres par défaut du programme.

Si un logo d'en-tête de page a été sélectionné pour l'impression de dessins, de tableaux et de rapports, l'en-tête apparaît également ici. Cliquez sur le logo pour le modifier ou essayez *Paramètres / Préférences / Rapport / Logo de l'entreprise / Paramètres*

3.1.2. Précédentes révisions...



AxisVM peut conserver les révisions antérieures du projet. Cette fonction est activée par défaut. La boîte de dialogue *Révisions précédentes* liste les révisions précédentes dans l'ordre chronologique inverse (l'élément le plus élevé est le plus récent). La colonne Taille du fichier indique la taille du fichier du projet (et du fichier résultat s'il existe).
Les révisions peuvent être ouvertes et verrouillées. Les commentaires peuvent être saisis et édités en cliquant sur une cellule de la colonne *Commentaire*.



Le nombre maximum de révisions stockées peut être modifié dans la boîte de dialogue *Paramètres*. Si le nombre de révisions a atteint le maximum, la révision la plus ancienne est supprimée lors de la sauvegarde d'une nouvelle révision. Il est également possible de stocker les révisions et les fichiers de résultats enregistrés automatiquement (pour les réglages de l'enregistrement automatique, voir *Paramètres / Préférences / Sécurité des données, 3.3.11 Paramètres*. Les fichiers d'enregistrement automatique apparaissent en gris et leur numéro de révision est indiqué entre parenthèses.
Le dossier "*Révisions*" contenant les révisions ultérieures du projet est créé par défaut sous le dossier du fichier projet, mais l'emplacement de ce dossier peut être modifié.

Il y a deux façons d'ouvrir une révision antérieure : l'ouvrir en *tant que nouveau projet* ou l'*enregistrer puis écraser le projet actuel*. Cette dernière option enregistre l'état actuel du projet comme une révision puis la révision précédente écrase le projet.

Ce dialogue est également disponible dans *Paramètres / Préférences / Sécurité des données,*

Ouvrir. Enregistre la révision sélectionnée comme nouveau projet et l'ouvre. Il est possible de conserver les révisions antérieures.



Enregistrer une révision précédente. Sauvegarde la révision sélectionnée sous un nouveau nom. Il est possible de conserver les révisions antérieures.



Verrouiller les révisions. Verrouille les révisions sélectionnées. Ces révisions ne sont pas supprimées même si le nombre de révisions enregistrées a atteint le maximum défini dans les *paramètres*.



Déverrouiller les révisions. Déverrouille les révisions sélectionnées. Si une révision est déverrouillée, elle sera supprimée si nécessaire.



Supprimer. Supprime les révisions sélectionnées (les révisions verrouillées seront exclues).

☞ **Les révisions précédentes sont stockées dans un sous-dossier *Revisions\nom du* projet créé sous le dossier du fichier projet. La copie ou le déplacement du fichier ne permet pas de copier ou de déplacer ces sous-dossiers. Afin de copier ou de déplacer les révisions, le sous-dossier ci-dessus doit être copié ou déplacé vers le nouvel emplacement.**

3.1.3. Ouvrir



[Ctrl]+ [O]

Charge un projet existant dans AxisVM. Si vous n'avez pas sauvegardé le projet actuel, une invite apparaît pour vous demander si vous voulez le sauvegarder d'abord. Reportez-vous aux commandes "*Enregistrer*" et "*Enregistrer sous*" pour plus d'informations sur la manière de sauvegarder votre projet actuel. En sélectionnant cette commande, la boîte de dialogue Ouvrir apparaîtra.
Si le nom du dossier apparaissant dans la boîte de dialogue est celui que vous souhaitez, il vous suffit d'entrer le nom du fichier dans la boîte d'édition ou de le sélectionner dans la liste. Si le répertoire n'est pas celui que vous souhaitez, sélectionnez les noms du lecteur et du répertoire en même temps que le nom du fichier.

☞ **AxisVM enregistre vos données de projet dans des noms de fichiers apparaissant comme Nomprojet.AXS (données d'entrée), et Nomprojet.AXE (les résultats). Les deux fichiers contiennent le même identifiant unique pour chaque sauvegarde, ce qui permet de vérifier si les fichiers AXS et AXE appartiennent à la même version du projet.**

La boîte de dialogue ouverte a un aspect différent sur les systèmes d'exploitation Windows XP et Vista / Windows 7 / Windows 8 / Windows 10.

3.1.4. Sauvegarder



[Ctrl]+ [S]

Sauvegarde le projet sous le nom affiché en haut de l'écran AxisVM. Si vous n'avez pas encore enregistré le projet, la boîte de dialogue *Enregistrer sous* apparaît automatiquement et vous invite à saisir un nom. Utilisez la commande Enregistrer sous si vous modifiez un projet existant, mais que vous souhaitez conserver la version originale.

Si vous sélectionnez *Créer une copie de sauvegarde* dans les *Paramètres / Préférences / Sécurité des données / Enregistrer / Sauvegarde automatique,* un fichier de sauvegarde de votre projet précédent sera créé.
Si la case *Paramètre / Préférences / Sécurité des données / Format AXS comprimé* est cochée, le fichier projet sera enregistré dans un format compressé. La taille moyenne du fichier compressé est d'environ 10 % de l'original. La compression est plus efficace sur les gros fichiers.

3.1.5. Enregistrer sous

Nommer et enregistrer le projet. Utilisez cette commande de menu pour nommer et enregistrer un projet si vous n'avez pas encore enregistré le projet ou si vous modifiez un projet existant, mais souhaitez conserver la version originale.
En sélectionnant cette commande de menu, la boîte de dialogue Enregistrer sous apparaîtra.

Conversion des projets

Les projets créés avec des versions précédentes d'AxisVM (le cas échéant) seront convertis dans le format de fichier de la version actuelle lorsque vous les ouvrirez pour la première fois.

☞ **La commande Fichier / Enregistrer sous / Format de fichier Cette commande vous permet d'enregistrer le projet dans des formats antérieurs.**

La boîte de dialogue de sauvegarde est différente sur les systèmes d'exploitation Windows XP et Vista / Windows 7 / Windows 8 / Windows 10.

3.1.6. Exporter



Les fonctions d'exportation créent différents types de fichiers pour transférer des données vers d'autres applications d'ingénierie.

3.1.6.1. Exportation vers DXF

Fichier DXF

Enregistre la géométrie du projet dans un format de fichier `DXF pour l'`utiliser dans d'autres programmes de CAO. La géométrie est enregistrée avec les dimensions réelles, dans un `nom de projet.` **DXF**.
La sélection de cette commande de menu fait apparaître la boîte de dialogue Exporter DXF, qui Cette commande vous permet de spécifier les unités de mesure dans le fichier exporté. Les résultats définis dans la vue courante (en mode de visualisation diagramme, contour, surface 2D, etc.) peuvent également être exportés.

Les formats suivants sont disponibles pour la sortie DXF:

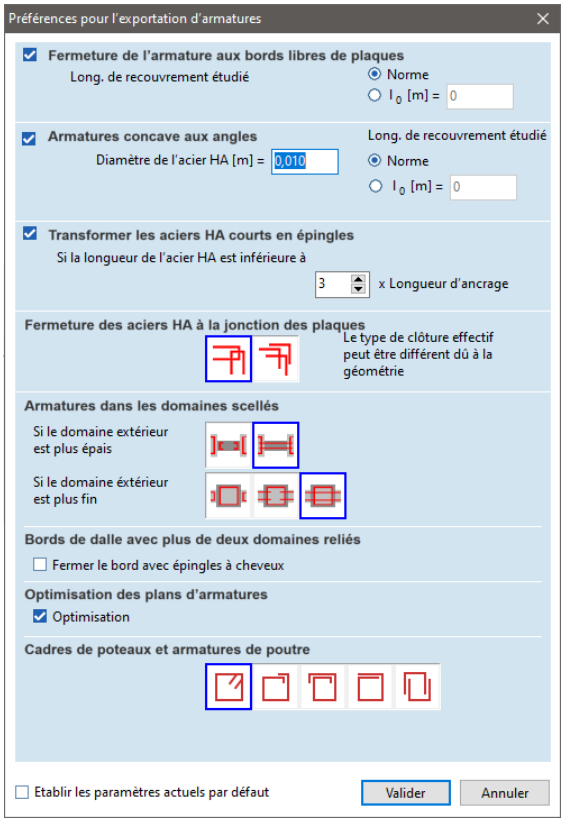
- *Fichier DXF AutoCAD 2004*
- *Fichier DXF AutoCAD 2000*
- *Fichier DXF AutoCAD R12*
- *Fichier d'étude d'armature AutoCAD*
- *Dossier d'étude d'armature AutoCAD 2004*

Les fichiers de conception des armatures sont des diagrammes isolés des armatures de surface requises, exportés avec des étiquettes et une légende en couleur. Chaque direction est sur une couche séparée. Pour exporter ce type de fichier DXF, allez dans l'onglet *Etude B.A.* et sélectionnez un composant de résultat lié aux armatures requises.

Il est recommandé d'utiliser le format AutoCAD 2004 pour éviter la perte de données. Les formats DXF antérieurs ne prennent en charge que 256 couleurs de palette et les caractères ASCII.
Pour d'autres options d'exportation de fichiers DXF et leur description, voir la section *3.1.6.7. Exportation vers d'autres applications*

3.1.6.2. Exportation vers IFC

Fichier IFC 2x, 2x2, 2x3



L'exportation de ce type de fichier nécessite un **module IFC.**
Exporte un fichier IFC décrivant le projet avec des objets architecturaux (murs, dalles, poteaux, poutres). Les fichiers IFC peuvent être importés dans ArchiCAD, AutoDesk ADT, Revit, Nemetscheck Allplan, Tekla-Xsteel et d'autres programmes architecturaux.

En cochant la case *Exporter armatures* dans la boîte de dialogue de sauvegarde et en cliquant sur *Paramètres d'exportation d'armatures,* une boîte de dialogue s'affiche pour définir comment les armatures réelle seront exportés.

Depuis la sortie de 13R1, les utilisateurs ont la possibilité d'exporter les armatures vers des fichiers .ifc.
L'algorithme intégré d'AxisVM permet d'exporter non seulement le champ armature basé sur les intensités données par l'utilisateur, mais aussi les aciers HA façonnées, comme les épingles, les crochets, etc.

- *Fermeture de l'armature aux bords libres des plaques* : les bords des plaques libres sont fermés par des épingles, dont les longueurs sont calculées sur la base de la longueur de recouvrement des aciers HA , qui est à son tour calculée soit par la norme définie dans le programme, soit par la valeur l0 donnée par l'utilisateur. Cette option peut être activée ou désactivée.
- *Armatures concaves aux angles* : les angles concaves peuvent être renforcés par de simples aciers HA, dont les longueurs sont calculées en fonction de la longueur périmétrique des aciers HA, qui est à son tour calculée soit par la norme définie dans le programme, soit par la valeur l0 donnée par l'utilisateur. Cette option peut être activée ou désactivée.
- *Transformer les aciers HA courts en épingles* : pour éviter de dupliquer inutilement les aciers HA, on peut donner à l'algorithme une valeur de multiplication. Ces barres simples, dont la longueur est supérieure à la longueur minimale périmétrique multipliée par cette valeur, seront converties en une épingle fermée. Cette option peut être activée ou désactivée.
- *Fermeture des aciers HA à la jonction des plaques* : le long des bords des plaques qui ne partagent pas le même plan, l'algorithme peut relier les armatures des plaques individuelles soit par des épingles, soit par des crochets. La géométrie réelle de ces barres façonnées dépend de la largeur et de l'angle des plaques de jonction, et parfois, l'algorithme révise le choix de l'utilisateur. Les dimensions des aciers HA profilées sont calculées par rapport à la longueur minimale de recouvrement.
- *Armatures dans les domaines imbriqués :* la méthode de fermeture, d'intégration des aciers HA des domaines imbriqués peut être choisie par l'utilisateur. Ils peuvent être traités séparément ou leurs aciers HA peuvent être intégrées les uns dans les autres, ou si le domaine intérieur est suffisamment petit, les aciers HA du domaine extérieur peuvent tout aussi bien être repliés intérieurement
- *Bords de dalle avec plus de deux domaines reliés* : dans ce cas, une solution automatique ne peut être trouvée, l'utilisateur peut donc choisir de sauter complètement ces bords ou de les fermer indépendamment l'un de l'autre.
- *Optimisation des plans d'armatures :* pour répartir les armatures de manière uniforme si les domaines d'armature se chevauchent
- Les longueurs d'acier HA bruts calculées sont toujours arrondies à la valeur la plus proche de ce tableau : 0.4, 0.5, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.5, 2.0, 2.4, 3.0, 4.0, 6.0, 12.0 m
- *Cadres de poteaux et armatures de poutres*: l'exportation des cadres dans le fichier se fera en fonction des propriétés des cadres ajustées par l'utilisateur. Si ce réglage n'est pas disponible, l'utilisateur peut choisir d'utiliser les règles de la norme pour calculer les positions des cadres, ou de les ignorer complètement. Il existe actuellement cinq formes d'ossatures différents, que l'utilisateur peut sélectionner en cliquant sur l'icône de la forme souhaitée.

Exporter les données du projet

Si l'option *Modèle architectural* est sélectionnée, seuls les objets architecturaux seront exportés. Si l'option *Modèle statique* est sélectionnée, les maillages d'éléments finis, les charges, les cas de charge, les groupes de charges et les combinaisons de charges seront inclus dans le fichier IFC. Les charges dynamiques, les lignes d'influence ou les charges mobiles seront exclues.

3.1.6.3. Exporter vers REVIT

Exportation vers lRevit (.are)*

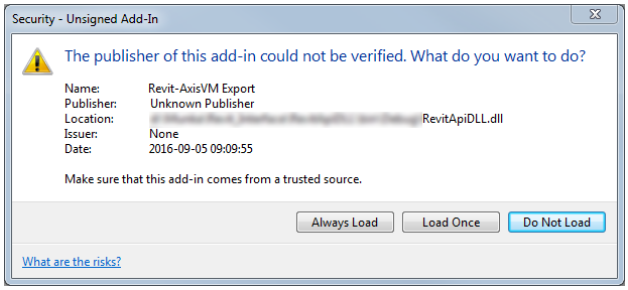
L'exportation de ce type de fichier nécessite un **module REV.**

Le projet AxisVM (le projet entier, les parties actives ou les éléments sélectionnés) peut être enregistré dans un fichier avec l'extension ARE, lisible dans Revit après l'installation d'un complément.

Les éléments exportés sont les fermes, les poutres, les nervures, les domaines et les appuis. Le complément d'importation pour Revit permet de filtrer les éléments, de définir la géométrie par défaut appuis nodaux et linéaires et de convertir les matériaux définis dans AxisVM vers les matériaux Revit.

Si Revit a été installé sur l'ordinateur, le module complémentaire Revit est installé automatiquement même si le module REV n'est pas inclus dans la configuration.

☞ **Depuis Revit2017, la fenêtre contextuelle ci-dessous apparaît lors de la phase d'initialisation de chaque complément ou exécutable tiers.**



☞ **Dans ce cas, veuillez appuyer sur "Charger cette fois-ci" si vous souhaitez charger le complément et utiliser ses capacités, ou sur "Toujours charger" si vous souhaitez supprimer ce dialogue à l'avenir.**

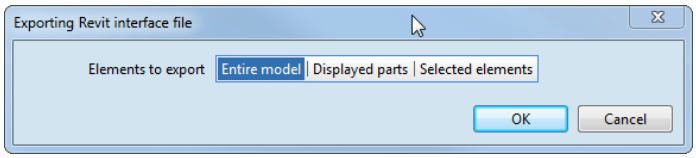
Données exportées

Pour l'instant, seules des données géométriques sont exportées vers Revit, qui sont :

- Les éléments linéaires avec leurs matériaux et leurs sections transversales
- Les régions et leurs matériaux
- Les appuis

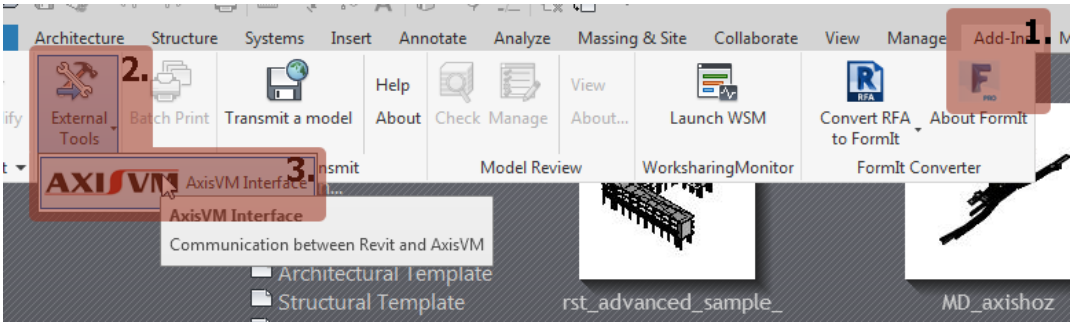
Exploitation

Le processus d'exportation doit toujours être lancé à partir d'AxisVM, de la manière mentionnée ci-dessous :
Menu Fichier -> Exporter -> Exporter vers revit (.are)*
En appuyant sur le bouton Paramètres, vous pouvez choisir entre plusieurs options :



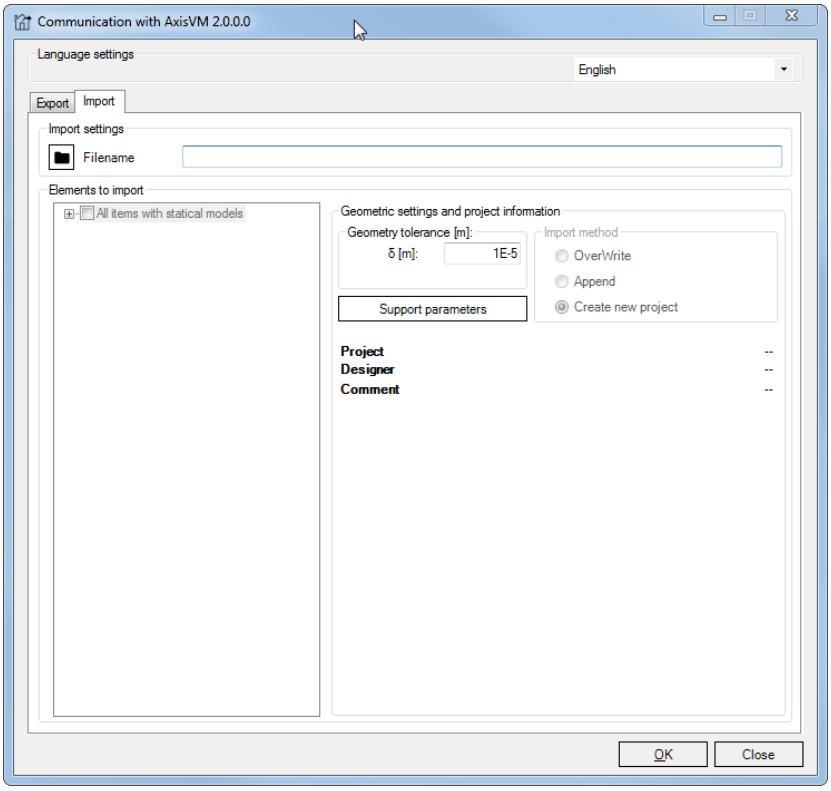
- *Projet entier*- toutes les données exportables seront écrites dans le fichier
- *Parties affichées* - toutes les parties visibles à l'écran seront exportées
- *Éléments sélectionnés* - seuls les éléments sélectionnés auparavant seront exportés

Après avoir enregistré le fichier d'extension. are, vous pouvez l'importer dans Revit comme sur la photo ci-jointe:

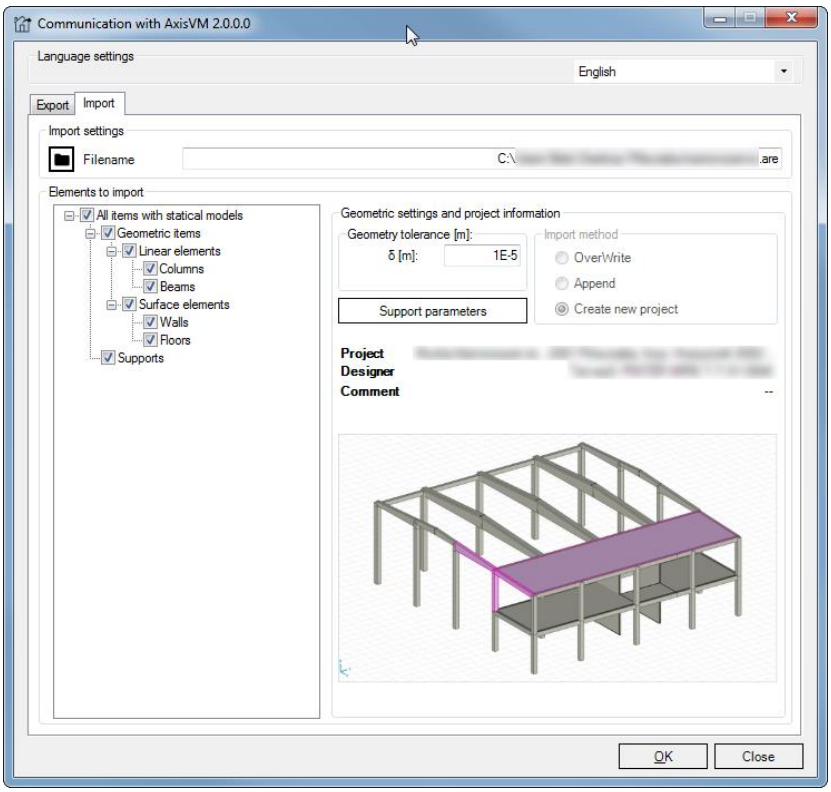


Compléments / Outils externes / Interface AxisVM

Ensuite, le formulaire ci-dessous apparaîtra :



Dans la mesure où un projet est ouvert dans Revit, les onglets Exporter et Importer seront tous deux activés, sinon seul l'onglet Importer peut être utilisé.
Pour importer des fichiers d'extension. are, vous devez appuyer sur le bouton situé à gauche de *Nom de fichier*.
Ensuite, l'arbre de gauche est rafraîchi par le contenu du fichier, et un aperçu du projet à importer est visible dans le coin inférieur droit.



Les éléments qui sont efficacement importés peuvent être filtrés en vérifiant les nœuds de l'arbre de gauche.

Méthode d'importation

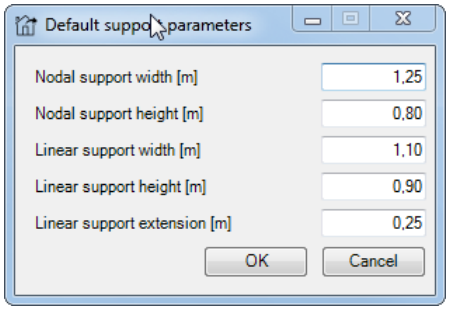
Si vous avez un projet ouvert au moment de l'importation, vous pouvez choisir parmi plusieurs options:

- *Re-écrire* - tous les éléments seront supprimés du projet (sauf ceux qui ont été épinglés auparavant), et de nouveaux éléments seront importés dans ce projet purgé
- *Ajouter* - de nouveaux éléments sont ajoutés au projet préservant les anciens
- *Créer un projet nouveau* - les projets ouverts restent inchangés, et un tout nouveau projet sera créé, dans lequel tous les éléments seront importés

En revanche, si vous n'avez pas de projet ouvert, un nouveau projet sera créé.
Il est important de noter que si le projet est en lecture seule, seule la troisième option est activée.

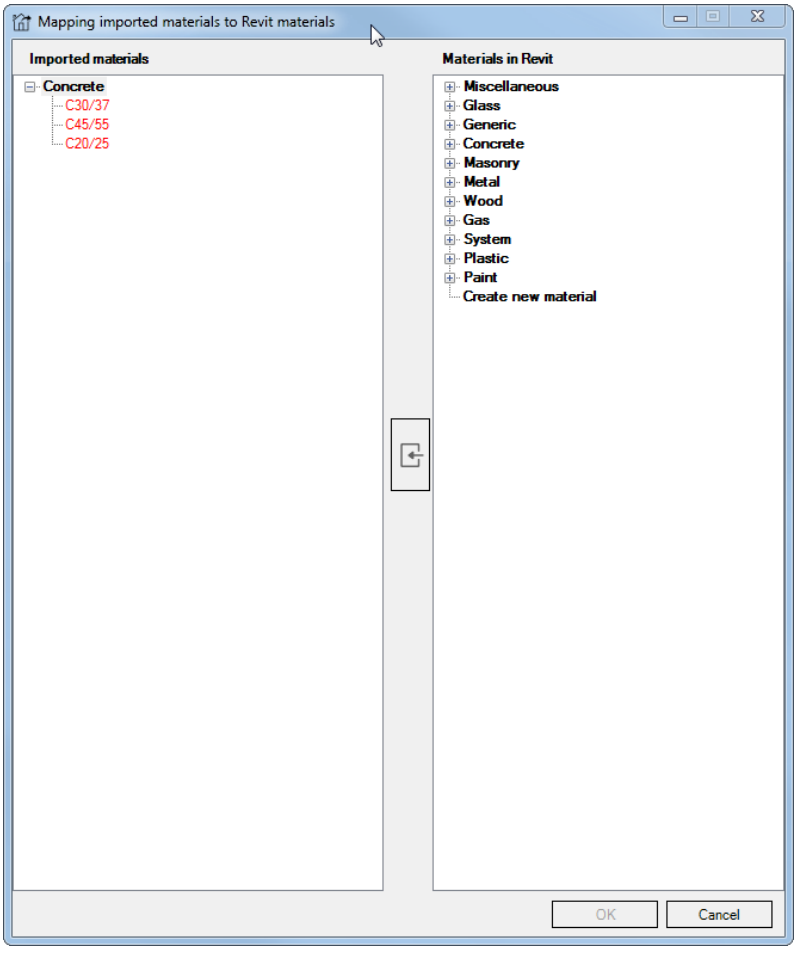
Paramètres d'appui

Les aides sont importées sur la base des considérations suivantes :
Si une géométrie a été attribuée à un certain appui dans AxisVM, cette propriété sera utilisée. Sinon, la géométrie sera créée sur la base des paramètres par défaut, qui peuvent être ajustés en cliquant sur le bouton "Paramètres de l'appui".



Matériaux de correspondance

Comme les enregistrements de matériaux AxisVM ne peuvent pas être directement mis en correspondance avec les matériaux Revit, une interaction avec l'utilisateur est nécessaire pour aider à cette mise en correspondance. Elle peut être effectuée à l'aide du formulaire ci-dessous:



Vous ne pouvez poursuivre le processus d'importation que si toutes les mises en correspondance sont effectuées sur ce formulaire. Afin de faire correspondre le matériau AxisVM et le matériau Revit, vous devez sélectionner un matériau comme type de matériau dans l'arbre de gauche, et un autre dans l'arbre de droite. Ensuite, si vous appuyez sur le bouton entre les deux arbres, le matériau AxisVM sélectionné sera mis en correspondance avec le matériau Revit sélectionné. La sélection dans l'arbre de gauche sautera alors automatiquement sur le nœud non traité suivant. Les nœuds non traités sont dessinés en rouge, tout le reste est dessiné en noir.
Vous n'avez pas besoin de faire cette correspondance une par une. Au lieu de cela, si vous sélectionnez un nœud avec plusieurs branches toutes branches du nœud se verront attribuer le matériau Revit sélectionné.
Si vous sélectionnez le dernier nœud de l'arbre de droite, un nouveau matériau Revit sera inséré dans la base de données avec des propriétés héritées du matériau AxisVM sélectionné.

Une fois toutes les correspondances effectuées, le bouton VALIDER sera activé et vous pourrez poursuivre le processus d'importation.

3.1.6.4. Exportation vers TEKLA STRUCTURES

Dossier Tekla Structures

Deux formats de fichiers différents sont disponibles :

Fichier ASCII des structures Tekla (TS) (.asc)*
Enregistre la géométrie du projet dans un format de fichier reconnu par Tekla Structures. Le fichier comprend les coordonnées des nœuds d'extrémité i et j, les propriétés de la section transversale et le point de référence des fermes et des poutres

Fichier DSTV Tekla (TS) (.stp)*
Sauvegarde les données des fermes et des poutres (points d'extrémité, matériau, section transversale, référence) dans un fichier DSTV standard. Ce format de fichier est pris en charge par plusieurs logiciels de CAO pour les concepteurs de structures en acier.

Tekla Structures 2019 (et les versions ultérieures) prennent en charge la connexion bidirectionnelle avec des programmes externes. Le module TI de l'AxisVM peut établir une telle connexion, il est donc intéressant d'utiliser cet échange mutuel de données au lieu des fichiers d'interface ci-dessus (*3.1.9.1. Connexion bidirectionnelle pour Tekla Structures versions 2019 et ultérieures)*

3.1.6.5. Exporter vers NEMETSCHEK ALLPLAN

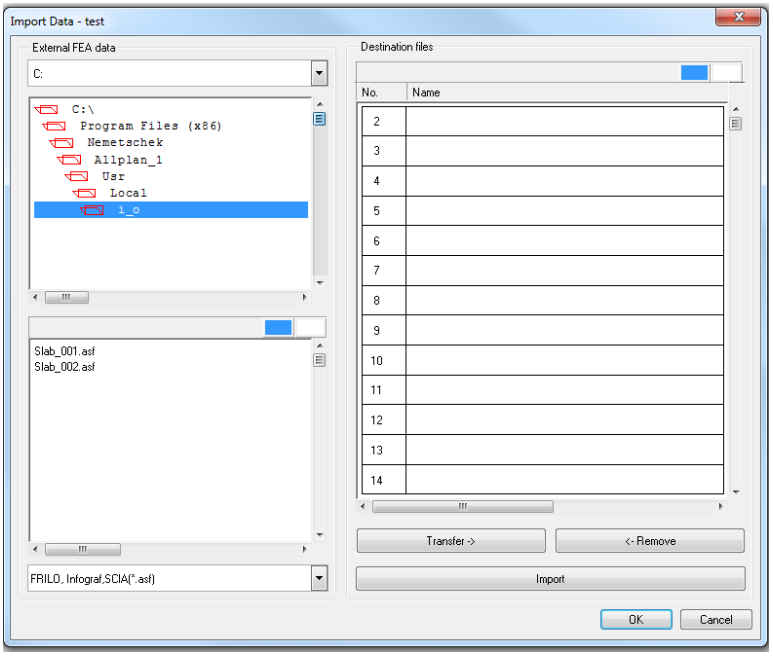
Dossier ASF

L'exportation de ce type de fichier nécessite un **module ALP.**
Exporte les armatures de tous les domaines actifs dans des fichiers séparés (nom de fichier_001.asf...) qui peuvent être importés ultérieurement dans Nemetschek Allplan en mode batch (en une seule fois). En raison des limitations d'importation d'Allplan, les domaines sont transformés en plan XY ou XZ, selon le plan le plus proche du domaine exporté.
Seul les armatures des domaines sont exportées, les résultats des éléments surfaciques définis individuellement seront ignorés. Trois valeurs d'armature sont exportées pour les mailles triangulaires et quatre valeurs pour les quadrangulaires.
Sélectionnez *Déplacer vers l'*origine pour déplacer les domaines exportés vers l'origine (le nœud de polygone le plus proche de l'origine sera justifié par rapport à l'origine).
Sélectionnez le type d'armature à exporter : requis (calculé), réel (appliqué) ou le maximum des deux.

☞ **L'exportation vers le fichier ASF est disponible uniquement dans l'onglet Étude B.A.**

Importation d'un fichier ASF dans AllPlan

- Pour importer un fichier asf, allez à l'élément de menu *Créer/Interfaces/Importer des fichiers FEA dans le* menu Allplan.
- Sélectionnez le dossier contenant les fichiers asf dans la structure des répertoires de la fenêtre en haut à gauche. Vous pouvez voir les fichiers asf dans la fenêtre en bas à gauche. Sélectionnez un ou plusieurs fichiers asf dans cette liste et choisissez l'emplacement de ces fichiers en cliquant dans la ligne de la liste sur le côté droit *(Fichiers de destination).*
- Cliquez sur le bouton *Transfert* -> et les fichiers sélectionnés apparaîtront dans la liste.
- Cliquez sur le bouton *Importer*, et les fichiers sélectionnés seront importés dans le programme Allplan.
- Fermer la fenêtre avec VALIDER



Affichage des armatures importés dans AllPlan

- Cliquez sur l'élément de menu *Créer/Ingénierie/Aciers HA /Armatures FEA Image couleur dans* le menu Allplan
- Cliquez sur le fichier *asf* souhaité
- Choisissez la couche (haut/bas) et le type (compression/traction) des valeurs d'armature importées
- Cliquez sur VALIDER

3.1.6.6. Exportation au format de fichier SAF

L'exportation de ce type de fichier nécessite un **module SAF.**
Ce format de fichier basé sur Excel permet l'échange de données de projets structuraux avec d'autres applications supportant ce protocole. Le fichier se compose de feuilles de calcul standardisées avec les propriétés géométriques, structurelles et de charge du projet, et peut donc être visualisé et/ou édité avec Excel. Le protocole SAF est pris en charge par ArchiCAD, AllPlan, SCIA et RFEM.
Les entités exportées vers le fichier résultant sont

- fermes, poutres, poteaux, nervures, appuis, régions et éléments de connexion (rotules, jonctions)
- Sections transversales
- Rigidités des appuis
- Charges, combinaisons de charges

Exploitation

Sélectionnez le *menu Fichier / Exporter / Exportation SAF (*.xlsx)*, sélectionnez l'emplacement et le nom du fichier pour l'exportation et appuyez sur *Enregistrer*.

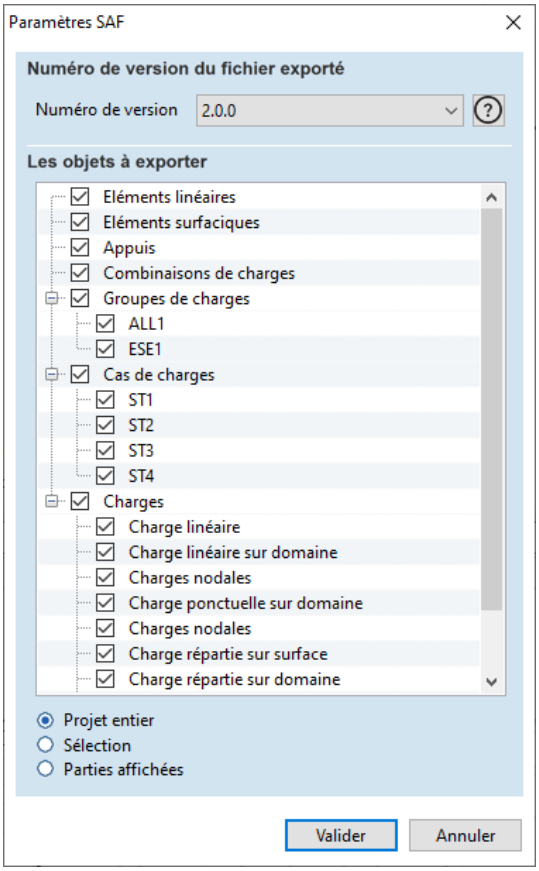
Options SAF

Les objets à exporter peuvent être filtrés.

Il faut d'abord choisir la version SAF exportée (1.0.5 à 2.0.0). Vous pouvez obtenir plus d'informations sur les différences en cliquant sur le point d'interrogation. Il est conseillé d'utiliser la dernière version possible, mais si l'application cible ne la supporte pas, la dernière version appropriée peut être sélectionnée.

L'arbre des types d'objets disponibles lit les groupes de charge et les cas de charge du modèle. Dans le cas d'un grand nombre de charges et de cas de charge, il peut être nécessaire de les décocher pour que la taille du fichier résultant reste raisonnable.

Le filtre principal en bas du formulaire permet l'exportation de
- l'ensemble du projet
- uniquement les parties sélectionnées
ou uniquement les parties affichées.



3.1.6.7. Exportation vers d'autres applications

Dossier Bocad

Enregistre la géométrie du projet dans un format de fichier reconnu par le logiciel Bocad. Le fichier comprend les coordonnées des nœuds d'extrémité i et j, les propriétés de la section transversale et le point de référence des fermes et des poutres

Dossier StatikPlan

Pour StatikPlan, AxisVM exporte un fichier DXF comprenant le contour de la plaque de béton armé, les armatures calculées sous forme d'isolignes et les légendes des résultats sur les différents calques.

Dossier PianoCA

Génère un fichier d'interface *.pia pour PianoCA. Il comprend les données, les appuis, les charges et les résultats calculés des éléments de poutre sélectionnés.

Fichier CADWork

Crée un fichier DXF à utiliser dans le logiciel CADWork de détail des armatures.
Seuls les domaines sélectionnés seront exportés.
Comme CADWork fonctionne en 2D, les domaines sélectionnés doivent être dans le même plan. Chaque domaine dans le fichier DXF est transformé en un système de coordonnées X-Y local, la coordonnée Z représente la quantité d'armature calculée.

Fichier SDNF 2.0, 3.0

Enregistre le projet dans un fichier SDNF (Steel Detailing Neutral Format) lisible par les produits de détail en acier (Advance Steel, SDS/2, Tekla Structures, PDMS).

*Fichier Glaser -isb cad- *.fem*

Exporte les domaines d'armature vers le programme Glaser -isb cad.

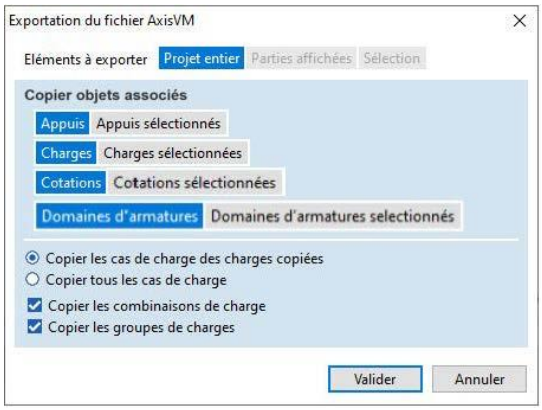
3.1.6.8. Exportation vers AxisVM

Visionneuse AxisVM

Enregistre le projet au format AxisVM Viewer (*.axv).
Voir... *7 AxisVM Viewer et Viewer Expert*

Fichier AXS

Les groupes d'éléments suivants peuvent être exportés: la structure entière, les parties affichées ou les éléments sélectionnés.
Pour sélectionner des options d'exportation similaires à celles des options de copie (voir... *3.2.8. Options de copier/coller*), cliquez sur le bouton *Paramètres de la boîte de* dialogue *Exporter.*



Exportation uniquement sélectionnés

Exporte uniquement les éléments sélectionnés.

Unités de coordonnées

Les unités de coordonnées du fichier exporté peuvent être sélectionnées ici.
L'unité par défaut est le mètre [m].

3.1.7. Importer

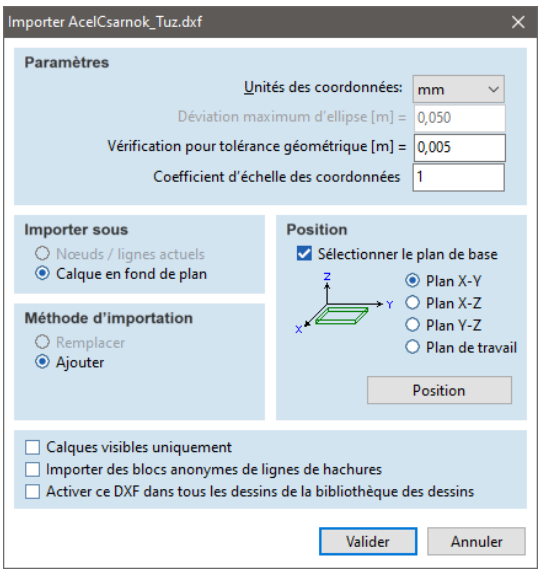


Les fonctions d'importation lisent et traitent différents types de fichiers pour transférer des données provenant d'autres applications d'ingénierie et fournir un lien vers les systèmes BIM (Building Information Modeling).

3.1.7.1. Importation de fichiers DXF

*AutoCAD *.dxf*

Importe un maillage géométrique d'un fichier DXF exporté au format AutoCAD 12, 13, 14, 2000 ou 2004 dans AxisVM. Les calques du fichier importé sont chargées dans le gestionnaire de calques. Voir... *3.3.3. Gestionnaire de calques*
Si la date du fichier importé a changé, le gestionnaire de calques vous demandera si vous souhaitez mettre à jour les calques. En sélectionnant cette commande de menu, la boîte de dialogue Importer DXF apparaîtra.

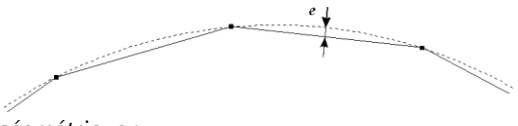


☞ **Les ellipses ne seront converties en polygones que si vous les chargez comme maille active ; dans le cas contraire, elles restent des ellipses.**
Dans la vue des résultats, vous ne pouvez importer que les calques de fond.

Paramètres

Unité de coordonnées
Vous devez spécifier l'unité de longueur utilisée dans le fichier DXF importé.

Déviation maximale d'ellipse [m]:
En important un fichier DXF comme maillage actif, les ellipses seront converties en polygones sur la base de cette valeur.



Vérification pour tolérance géométrique :

Lorsque vous importez un fichier DXF en tant que maillage actif, AxisVM vérifie les points (nœuds) et les lignes qui coïncident dans votre projet, et les fusionne.
Vous pouvez spécifier la distance maximale pour fusionner les points. Les points qui sont plus proches l'un de l'autre que la distance spécifiée sont considérés comme coïncidents. Les coordonnées des points fusionnés (nœuds) sont moyennées.
Vous devez toujours régler ce paramètre sur un petit nombre par rapport aux dimensions de votre projet.

Importer en tant que

Vous devez préciser si vous souhaitez utiliser le fichier DXF importé comme maillage actif ou comme calque d'arrière-plan.

Maillage actif (nœuds et lignes)
La géométrie importée est considérée comme si elle avait été créée avec des commandes AxisVM.
Les calques DXF peuvent être utilisées pour créer des pièces.

Calque en fond de plan
La géométrie importée est utilisée comme un calque d'arrière-plan qui est affichée mais qui est inactive comme un maillage. Importez un fichier DXF comme calque d'arrière-plan lorsque vous souhaitez créer le projet à partir de plans ou de coupes architecturales. Vous pouvez utiliser les entités du calque d'arrière-plan comme référence lors de l'édition de votre projet.

Mode d'importation

Vous pouvez choisir entre remplacer l'ancienne géométrie ou ajouter une nouvelle géométrie à l'ancienne

Position

Permet de spécifier le plan du calque DXF (X-Y, X-Z, ou Y-Z).
Le bouton Emplacement permet de positionner graphiquement le dessin DXF importé dans votre espace projet.

Calques visibles uniquement

Avec cette option, AxisVM , importer seulement les calques visibles dans le fichier DXF.

Importer des blocs anonymes et des lignes de hachures

Les hachures sont représentées par des lignes individuelles dans un fichier DXF, de sorte que dans la plupart des cas, il n'est pas recommandé de les importer. Si vous avez besoin de la hachure, cochez cette option.

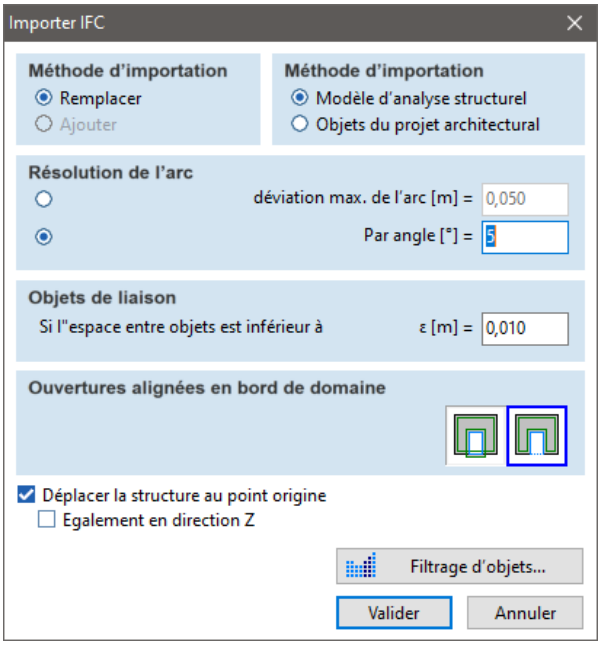
3.1.7.2. Importation de fichiers IFC

L'importation nécessite un **module IFC**.

Importe les objets d'un projet architectural enregistré dans un fichier IFC. Les objets importés peuvent être affichés comme un calque d'arrière-plan en 3D ou peuvent être convertis en un projet natif en leur attribuant des matériaux, des sections transversales, etc. Les projets architecturaux existants sont toujours écrasés par le nouveau projet.

Vous pouvez importer des projets architecturaux basés sur des objets depuis ArchiCAD, AutoDesk Architectural Desktop, Revit Structure, Revit Building, Nemetscheck Allplan, Bocad, Tekla et Xsteel.

L'importation de fichiers IFC permet d'extraire le projet statique (si disponible) ou les objets architecturaux qui écrasent ou mettent à jour les informations existantes dans le projet AxisVM.



☞ **Cette fonction n'est disponible que sur les onglets Géométrie, Éléments, Charges et Maillage !**

Projet statique

À partir de la version 2x3 de l'IFC, il est possible d'exporter les détails du projet statique (nœuds, topologie, appuis, charges, combinaisons de charges). L'option Projet statique n'est disponible que si le fichier contient ces informations. S'il décrit des objets architecturaux (poteaux, poutres, murs, dalles, toits), seul le projet statique peut être créé automatiquement dans AxisVM après l'importation du fichier.

Objets projets architecturaux

Cette option permet d'écraser ou de mettre à jour les informations du projet architectural existant dans le projet AxisVM. AxisVM peut lire les poteaux, les poutres, les murs, les dalles, les toits.
Voir... *4.9.23. Création d'une ossature projet à partir d'un projet architectural*

rtures alignées en bord de domaine



Importation comme ouverture



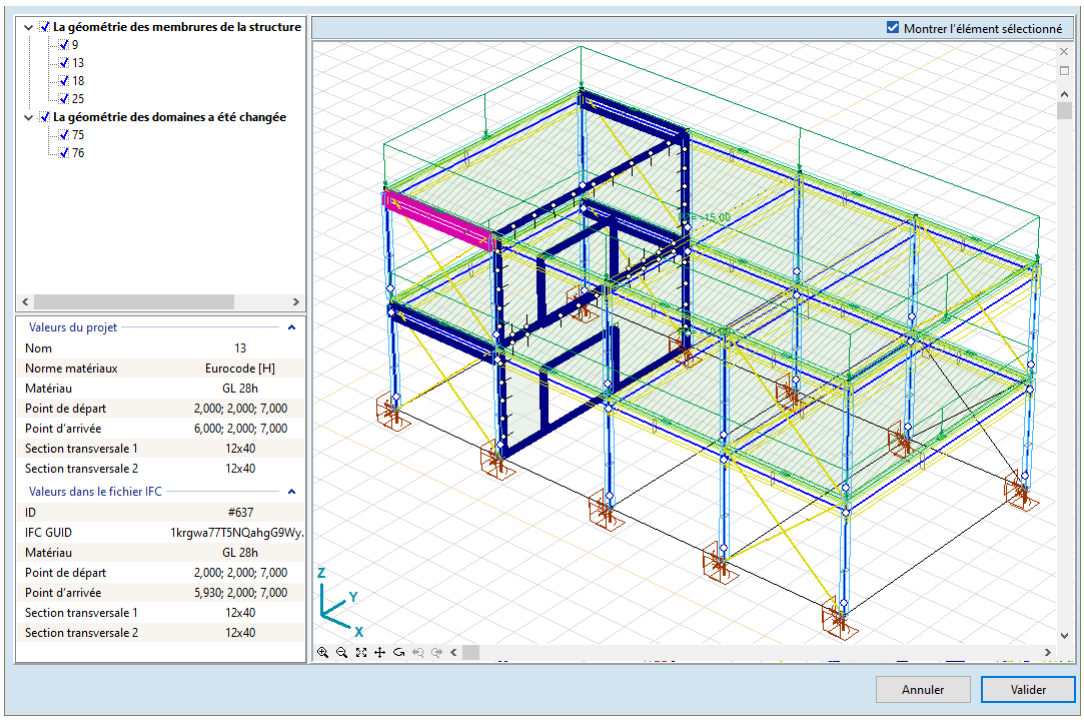
Ajuster le contour du domaine

lacer la structure au point d'origine

Si elle est cochée, AxisVM calcule le centre de gravité (CDG) du projet importé, translaté l'ensemble du projet, de sorte que les coordonnées X et Y du CDG arrivent à (0, 0) du système de coordonnées. Cela peut être utile lorsque le projet importé a de grandes valeurs de coordonnées.
Si la case "*Également en direction Z*" *est* cochée, une translation verticale sera également effectuée, déplaçant la coordonnée Z du COG vers zéro également.

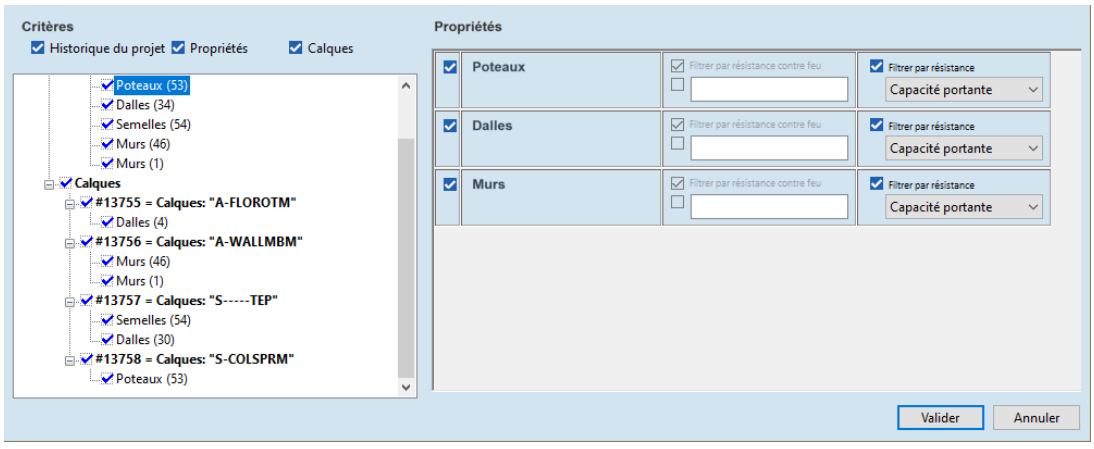
tion automatique des changements

Cette fonction répertorie les objets nouveaux, modifiés et supprimés lors de la réimportation de fichiers IFC. Chaque modification peut être approuvée ou ignorée. La sélection d'une modification dans l'arbre indique la position de l'élément sélectionné dans le projet actuel.



Filtrer les objets





Filtrage par *historique du projet* - L'utilisateur peut choisir d'importer de nouveaux éléments ou des éléments modifiés
Ce type de filtre ne fonctionne correctement que sur les fichiers préalablement exportés de AxisVM et modifiés dans un autre programme.
Filtrage par *propriétés* - L'utilisateur peut choisir des éléments ayant une capacité de charge et/ou un indice de résistance au feu. Ce type de filtre ne fonctionne correctement que si ces informations sont incluses dans le fichier.
Filtrage par *calques* - si le fichier IFC contient des informations sur les calques pour les entités, l'utilisateur peut sélectionner les calques à importer et ceux à ignorer.

☞ **Lorsque vous exportez un projet depuis ADT (Architectural Desktop), désactivez l'intersection automatique des murs avant de créer le fichier IFC.**

3.1.7.3. Importation de fichiers RAE REVIT

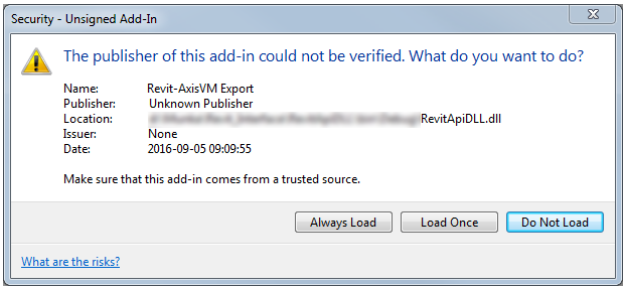
Importation de Revit

AxisVM peut importer des données via une connexion directe entre AxisVM et Autodesk Revit 2015 (ou plus récent). Il est basé sur l'API Revit qui permet à d'autres programmes d'interroger et de modifier sa base de données.
A la fin du processus d'installation d'AxisVM, le programme d'installation crée un dossier appelé "RevitImport" sous le dossier AxisVM, et copie tous les fichiers nécessaires.
Le fichier d'extension .addin est créé dans le dossier c:\Users\<UserName>\AppData\Roaming\Autodesk\Revit\Addins\yyyyy, où "yyyy" représente une valeur entière supérieure ou égale à 2015. Ce fichier et l'ensemble du contenu du dossier "RevitImport" sont nécessaires à la bonne communication entre les deux programmes.

Il existe deux méthodes de communication

1. **En utilisant un fichier intermédiaire.**
2. **Par l'intermédiaire de l'interface COM AxisVM.**

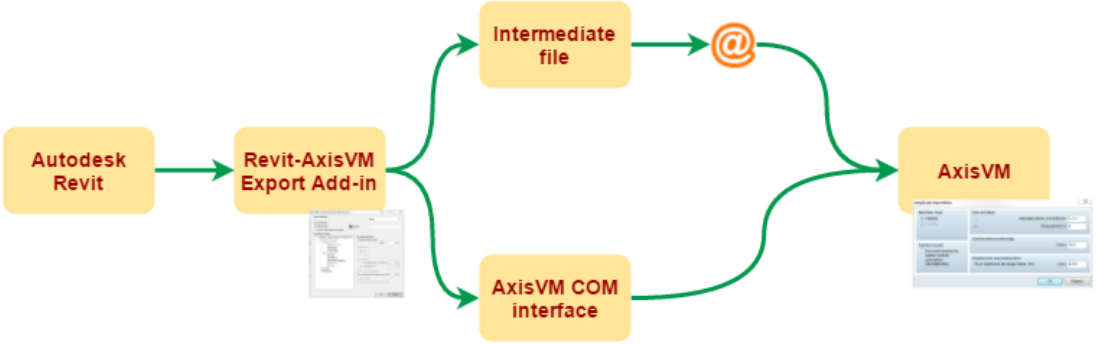
☞ **Depuis Revit2017, la fenêtre contextuelle ci-dessous apparaît lors de la phase d'initialisation de chaque complément ou exécutable tiers.**



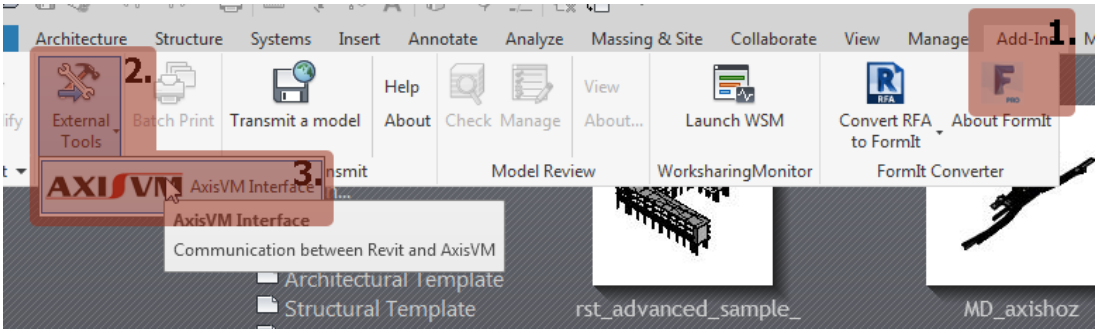
☞ **Dans ce cas, veuillez appuyer sur "Charger cette fois-ci" si vous souhaitez charger le complément et utiliser ses capacités, ou sur "Toujours charger" si vous souhaitez supprimer ce dialogue à l'avenir.**

Exploitation

Le schéma du flux de données est le suivant

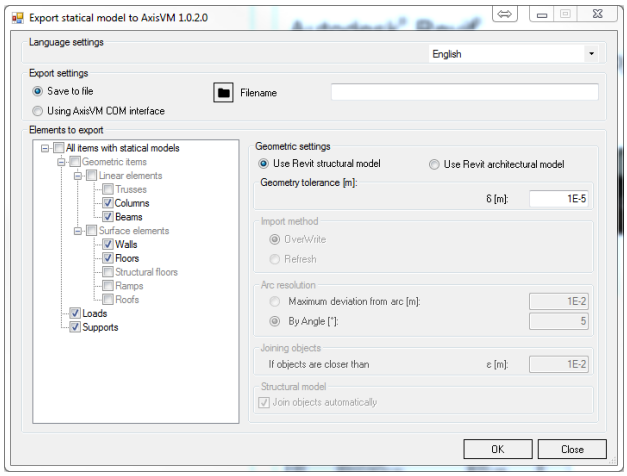


Le processus doit être lancé à **partir de Revit,** comme indiqué ci-dessous:
Compléments / Outils externes / Revit-AxisVM Export



Compléments / Outils externes / Interface AxisVM

Le dialogue *Exporter le modèle statique vers AxisVM* nous permet de choisir entre les deux méthodes. Ce choix détermine également les paramètres disponibles sur le dialogue.
Le choix de l'*interface COM AxisVM* permet de régler certains paramètres géométriques. La langue du dialogue peut également être choisie dans une liste.
Si le bouton radio *Utiliser le projet structurel Revit est* coché, le module d'extension exporte le projet structurel défini dans Revit tel quel, sinon il utilise le projet architectural pour calculer l'ossature statique à exporter.

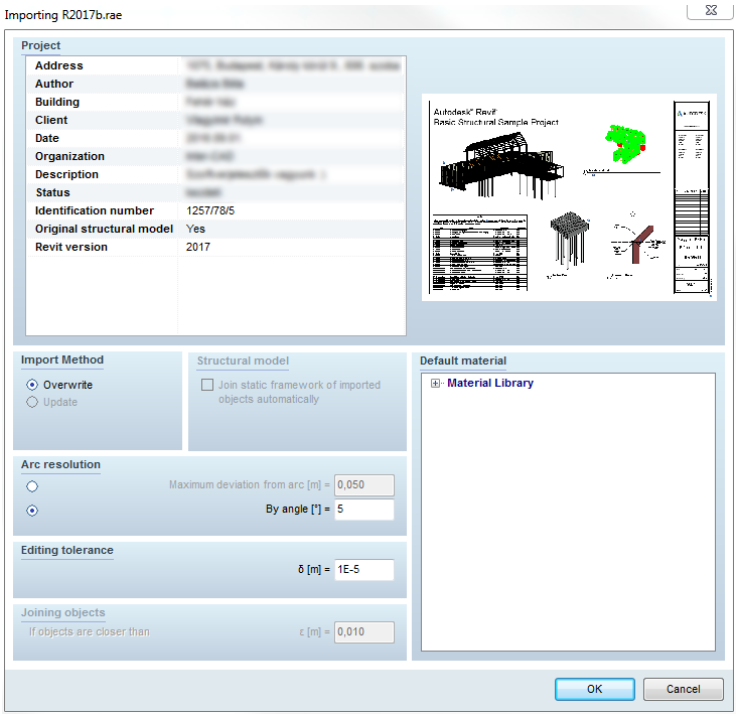


Importation via un fichier intermédiaire

Les utilisateurs doivent choisir cette option, s'ils souhaitent envoyer les données à un autre utilisateur.

Tout d'abord, ils doivent définir le nom du fichier à sauvegarder puis sélectionner une version d'AxisVM comme cible. Après une opération de sauvegarde réussie, le fichier créé peut être importé dans cette version d'AxisVM.

Lors de l'importation du fichier dans AxisVM, une boîte de dialogue s'affiche.



Projet Les informations sur le projet déclarées dans Revit figurent dans la liste en haut à gauche, tandis que l'image de droite montre une capture d'écran du projet tel qu'on pouvait le voir dans Revit.

Méthode d'importation Si le projet AxisVM n'est pas vide, deux options sont disponibles pour écraser le projet ou le mettre à jour.

Projet structurel Si cette option est activée, AxisVM modifie les données géométriques brutes pour construire une ossature structurel approprié. Les poutres en collision sont connectées à un corps rigide, les domaines voisins sont joints, les poutres courant sur un domaine sont converties en nervures. Certains de ces calculs nécessitent des ressources considérables et peuvent ralentir le processus d'importation.

Résolution de l'arc Certains calculs de géométrie nécessitent la conversion des arcs en polylignes. Le critère de conversion peut être défini ici.

Tolérance d'édition Tolérance utilisée lors du calcul de la géométrie.

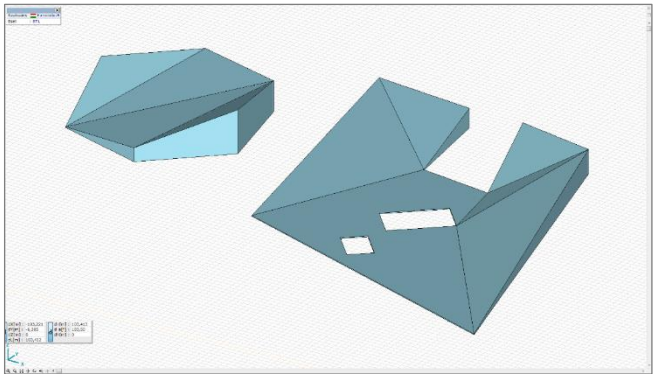
La jonction des objets Pour améliorer l'efficacité de la détection des collisions, les boîtes de délimitation des objets sont un peu gonflées. Cette valeur de tolérance peut être définie ici. Activer uniquement si la case à cocher sur le *projet structurel du* panneau est cochée.

Importation via l'interface COM Utilisez cette option si vous traitez vous-même les données extraites de Revit et que vous exécutez Revit et AxisVM sur la même machine. Après une exportation réussie via l'interface COM d'AxisVM, AxisVM se lance et vous pouvez y poursuivre l'édition du projet. Les paramètres de géométrie ci-dessus doivent être définis dans la boîte de dialogue d'exportation de Revit.

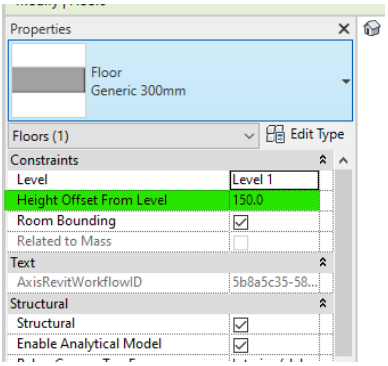
Déplacer la structure vers l'origine Si la case est cochée, AxisVM calcule le centre de gravité (CDG) du projet importé et translaté l'ensemble du projet de sorte que les coordonnées X et Y du CDG correspondent à (0, 0) du système de coordonnées. Cela peut être utile lorsque le projet importé a de grandes valeurs de coordonnées.
Si la case "Aussi dans la direction Z" est cochée, une translation verticale sera également effectuée, déplaçant la coordonnée Z du CDG vers zéro également.

Éléments à exporter Les types d'éléments à exporter peuvent être définis en sélectionnant les éléments de l'arbre.

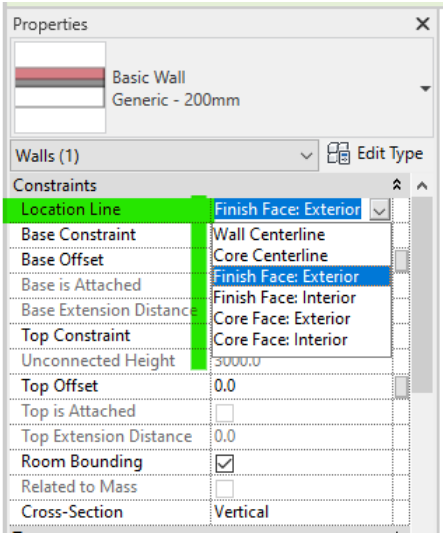
À partir de la version X4, les régions biseautées et excentriques peuvent également être exportées.



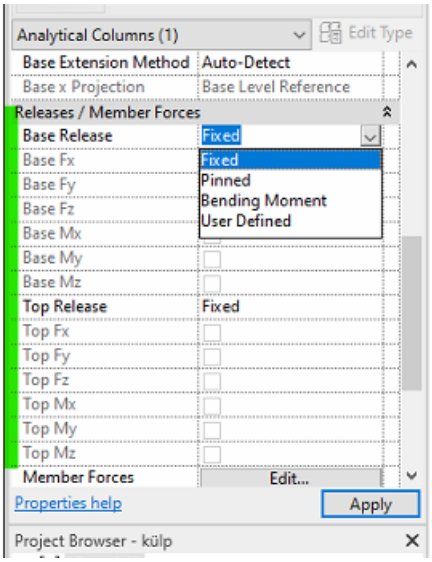
A partir de la version X6 AxisVM reconnaît les domaines excentriques et les éléments de poutre. L'excentricité des dalles est lue à partir du paramètre vert (Décalage de la hauteur par rapport au niveau).



L'excentricité des murs est lue à partir des paramètres sélectionnés sur la capture d'écran. Elle décrit la position de la ligne de référence par rapport aux points significatifs.

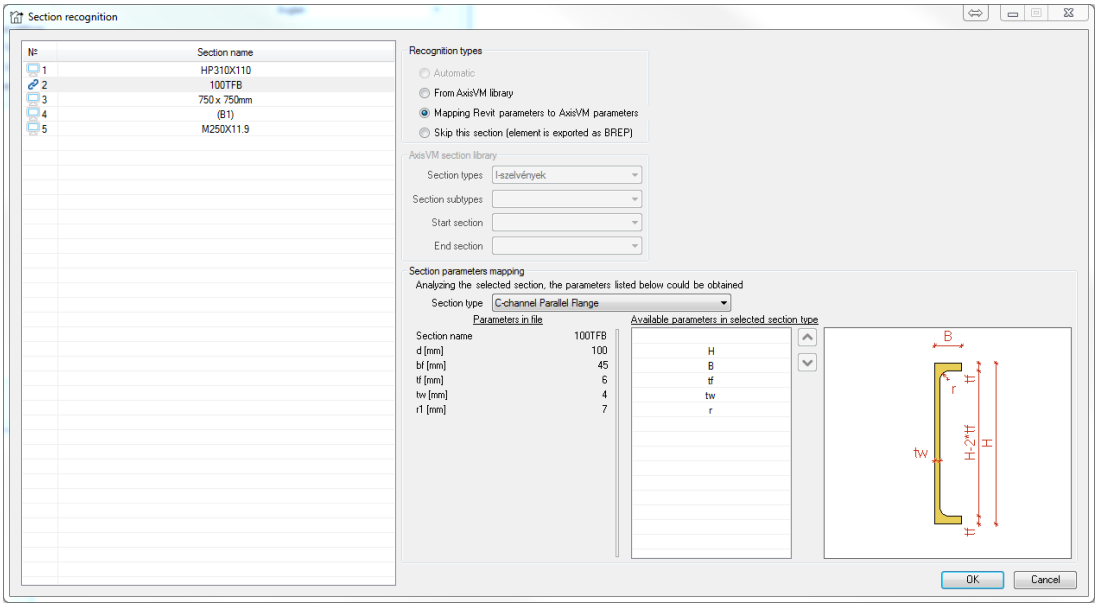


A partir de la version X6, les sorties d'extrémités de poutres peuvent être importées de et exportées vers Revit. Les équivalents Revit de ces paramètres sont sélectionnés sur cette capture d'écran.



Reconnaissance des sections Transversales

Parfois, les informations transversales lues dans la base de données Revit sont limitées, de sorte que l'identification des sections transversales nécessite une interaction avec l'utilisateur. Si c'est le cas, un dialogue s'affiche.



La reconnaissance des sections transversales peut se faire de plusieurs façons:

Automatique Le complément a pu obtenir suffisamment d'informations sur un certain type de section transversale.

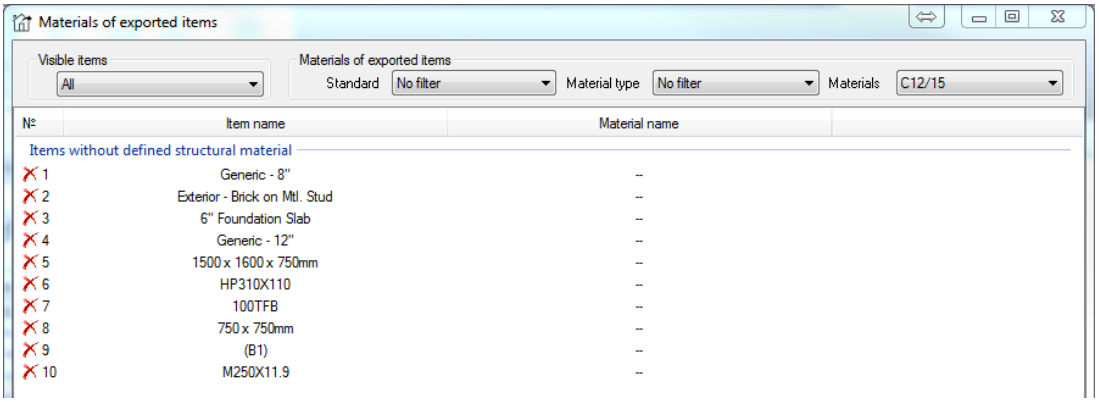
De la bibliothèque AxisVM Si la reconnaissance automatique a échoué, vous pouvez sélectionner la section transversale appropriée dans la bibliothèque de la section transversale AxisVM.

Mise en correspondance des paramètres Revit avec les paramètres d'AxisVM Le stockage des paramètres de section transversale dans Revit n'est pas cohérent, de sorte qu'une correspondance unique des paramètres peut être nécessaire. Vous pouvez sélectionner une propriété dans la liste et la déplacer vers le haut ou vers le bas dans la position appropriée pour associer des paramètres dans AxisVM et Revit.

☞ **Le complément apprend le paramètre correspondant que vous avez défini, de sorte que la prochaine fois il identifiera les propriétés de la section transversale sans interaction de l'utilisateur.**

Sauter cette section transversale Le fait de sauter la section transversale signifie que tous les éléments ayant cette section transversale seront importés comme un objet général avec sa *représentation des limites* mais sans projet structurel.

Configuration Des matériaux L'extraction d'informations matérielles appropriées dans Revit pose des problèmes similaires. Si le module complémentaire échoue, il vous demandera de l'aide pour identifier les matériaux qui n'ont pas pu être reconnus, et vous pouvez associer les noms de matériaux AxisVM aux noms d'éléments.



Vous pouvez laisser certains éléments non assignés. Lors de la phase d'importation, AxisVM leur assignera un élément par défaut.

Si l'installateur échoue... Si l'installation échoue pour une raison quelconque et que Revit ne trouve pas le fichier dll du complément, vous pouvez l'installer manuellement en exécutant !REGISTER_Revit.BAT depuis le dossier où AxisVM est installé.

☞ **Il est important de savoir que la communication entre les deux programmes est basée sur l'interface API de Revit. Le projet structurel des éléments est interrogé à partir de la base de données Revit (si Revit ne fournit pas cette information, AxisVM ne peut importer que le fil de fer de l'élément). Ce projet structurel nécessite encore de nombreux ajustements mineurs pour le rendre utilisable. AxisVM essaie de joindre les objets (si vous cochez cette option) mais il faut parfois modifier le projet pour obtenir une ossature structurel adéquat.**

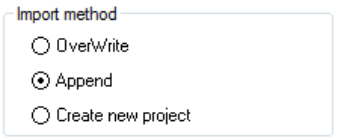
Échange de données basé sur la comparaison Depuis la version X6, AxisVM et Revit peuvent partager un flux de travail entre eux. Il s'agit en fait d'un export-import basé sur la comparaison.
Ainsi, les ingénieurs travaillant sur un même projet peuvent importer des entités nouvelles ou modifiées sans affecter les éléments inchangés.
Le processus de flux de travail peut être lancé à la fois à partir d'AxisVM et de Revit.

Lorsque l'on part de Revit, il faut laisser cochée la case située en bas de la fenêtre principale.



La raison en est que pour injecter les paramètres nécessaires dans le fichier du projet, l'application doit obtenir l'autorisation de l'utilisateur et enregistrer le fichier par la suite. Si cela ne peut pas se faire, le fichier exporté ne contiendra pas de paramètres de flux de travail. AxisVM sera toujours capable de lire le fichier produit, mais l'importation basée sur la comparaison ne sera pas possible.
Lorsque vous démarrez le flux de travail à partir d'AxisVM, il n'est pas nécessaire d'effectuer de tels actes, les paramètres nécessaires seront automatiquement intégrés dans le fichier.
On ne peut utiliser l'importation basée sur la comparaison que s'il existe un projet ouvert précédemment dans l'une ou l'autre des applications.

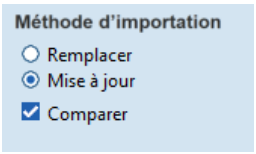
Dans Revit, les boutons radio doivent être activés comme sur l'image ci-dessous:



Dans AxisVM, vous pouvez voir les lignes ci-dessous lors de l'importation d'un fichier préalablement enregistré avec les paramètres du workflow:

Revit version	2019
Export selected only	No
Data exchange compat...	Yes

Pour que la comparaison soit efficace, vous devez cocher la case ci-dessous:



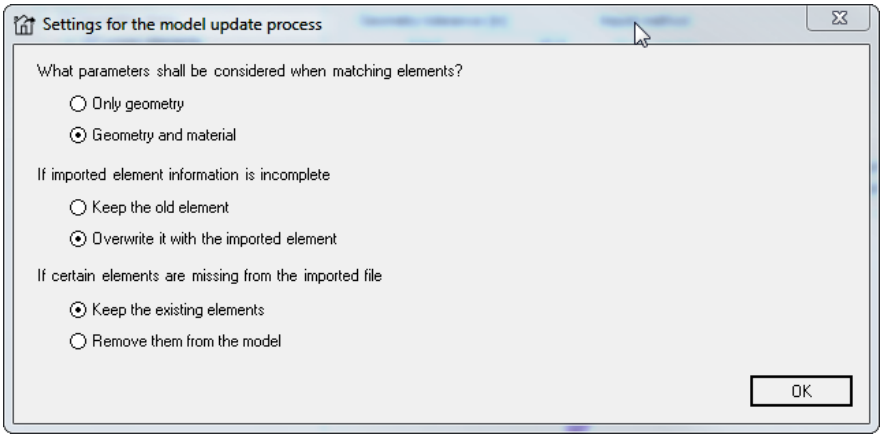
Lors de l'importation, trois scénarios de base sont traités:

1. L'élément à importer ne se trouve pas dans le projet réel, il peut donc être simplement traité et importé.
2. Un ou plusieurs éléments du projet réel ne se trouvent pas dans le fichier à importer. Dans ce cas, les utilisateurs peuvent choisir soit de supprimer ces éléments, soit de les ignorer et de les laisser intacts.
3. L'article à importer se trouve dans le projet réel. Dans ce cas, nous effectuons une comparaison basée sur
    a. La matière des éléments
    b. Le projet statique des éléments
    c. Le profil ou l'épaisseur des éléments

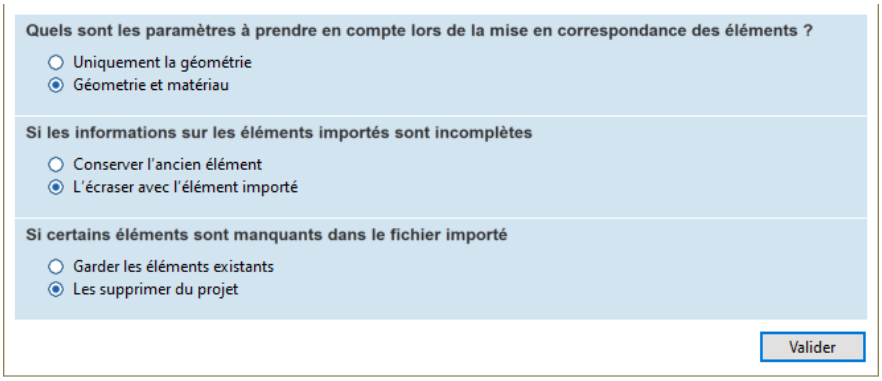
Si, après cela, nous les trouvons égales, l'article importé est ignoré. En revanche, s'ils sont différents, l'article qui arrive est traité et le premier est supprimé.
Lorsque - pour une raison quelconque - nous ne pouvons pas effectuer une comparaison fructueuse, les utilisateurs peuvent choisir de conserver l'article existant ou d'importer le nouveau.

Ces préférences d'utilisateur mentionnées peuvent être ajustées avant le processus d'importation proprement dit sur le formulaire collé ci-dessous:

Formulaire Revit



Formulaire AxisVM



3.1.7.4. Importation depuis TEKLA structures

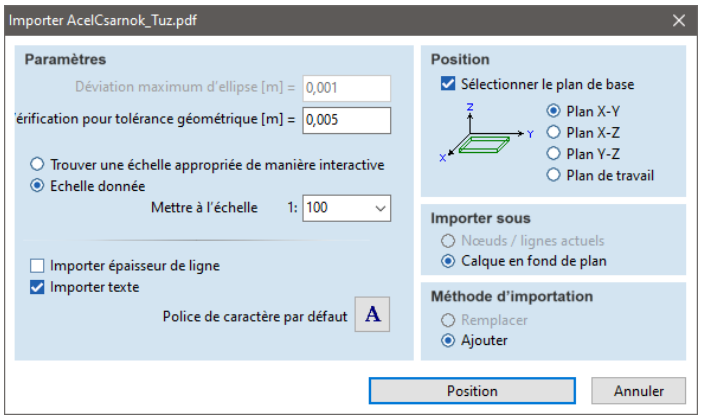
Les versions antérieures à Tekla Structures 2019 ne prennent en charge que la communication unidirectionnelle (*3.1.9.2 Connexion unidirectionnelle pour les versions de Tekla Structures avant 2019*

Pour Tekla Structures 2019 ou ultérieures, il est recommandé d'utiliser le module IT pour établir une connexion bidirectionnelle entre AxisVM et Tekla (*3.1.9.1. Connexion bidirectionnelle pour Tekla Structures versions 2019 et ultérieures)*

3.1.7.5. Importation de fichiers PDF – PDF module

*PDF *.pdf*

Le module PDF est requis pour importer des dessins à partir de fichiers PDF en tant que calque de fond ou lignes AxisVM.
Seuls les lignes, les courbes et les objets de texte sont traités, les images et autres éléments sont ignorés. La taille finale du dessin importé peut être réglée interactivement à l'écran *(Trouver une échelle appropriée de manière interactive)* ou peut être ajustée en spécifiant *Mettre à l'échelle*.
Importer épaisseur de ligne et *importer texte* sont des options facultatives. Remarque: certains moteurs de création de pdf exportent le texte sous forme d'une série d'objets graphiques, ce qui rend impossible la distinction entre le texte et les graphiques.



Vous pouvez définir la *police de caractère par défaut à* utiliser lorsque vous affichez du texte avec une police non disponible. Après avoir cliqué sur le bouton *Position,* un numéro de page doit être saisi pour les documents de plusieurs pages. Une seule page peut être importée à la fois.

Pour les autres paramètres et commandes, voir la partie ci-dessus décrivant l'importation de fichiers DXF.

3.1.7.6. Importation de fichiers SAF

L'importation de ce type de fichier nécessite un **module SAF**.

Ce format de fichier basé sur Excel permet l'échange de données de projets structuraux avec d'autres applications supportant ce protocole. Le fichier se compose de feuilles de calcul standardisées pour la géométrie, les propriétés structurelles et de charge du projet, et peut donc être visualisé et/ou édité avec Excel. Le protocole SAF est pris en charge par ArchiCAD, AllPlan, SCIA et RFEM.

Les entités importées du dossier entrant sont

- Fermes, poutres, poteaux, nervures, appuis, régions et éléments de connexion (rotules, joints)
- Sections transversales
- Les rigidités aux appuis
- Charge, combinaisons de charges

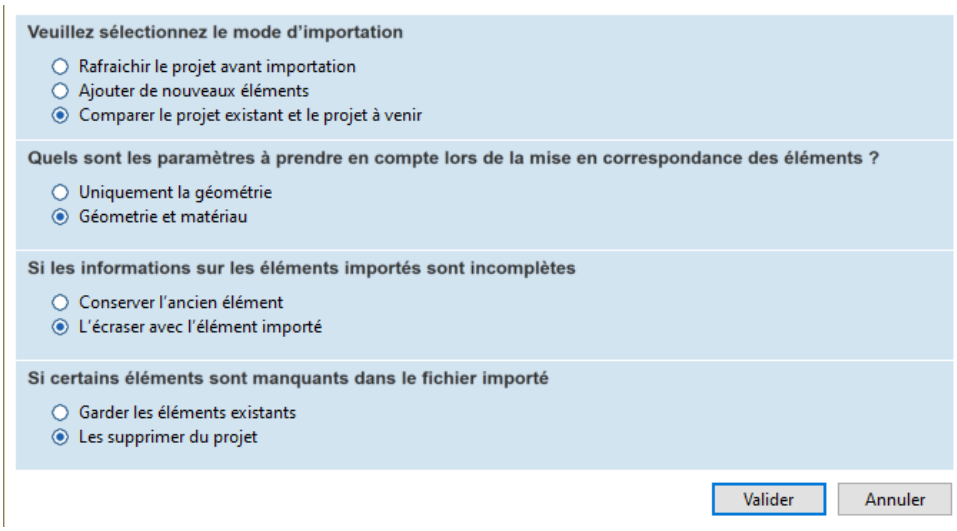
Exploitation

Sélectionnez *Fichier / Importer / Fichier d'importation SAF (*.xlsx)* et sélectionnez le fichier à lire et appuyez sur *Ouvrir*.
Vous pouvez également glisser et déposer le fichier importé sur la fenêtre principale de l'application.

Importer

Le processus d'importation diffère selon qu'un projet est déjà ouvert dans AxisVM ou non.

- Sinon, AxisVM analyse simplement le fichier et importe les entités.
- Dans le cas d'un projet ouvert, la boîte de dialogue suivante s'affiche



  - La première option efface le projet existant et importe le fichier entrant
  - La deuxième option ajoute toutes les entités entrantes au projet existant
  - La troisième option compare le projet existant et le projet à venir, et n'importe que les éléments qui sont soit
    - Nouveau
    - Ou modifiés soit dans leur matériau, soit dans leur géométrie

Si la dernière option est sélectionnée, les utilisateurs peuvent choisir de

- de ne comparer que la géométrie des deux projets
- ou inclure la comparaison des matériaux.

La comparaison géométrique consiste à comparer les axes et les sections transversales des éléments linéaires, les polygones et l'épaisseur des régions.

Pour faire face à la situation lorsque les données importées sont incomplètes ou qu'un problème imprévu survient, les utilisateurs peuvent choisir

- Ignorer l'élément d'arrivée
- Ou en remplaçant de toute façon l'élément existant par l'élément importé

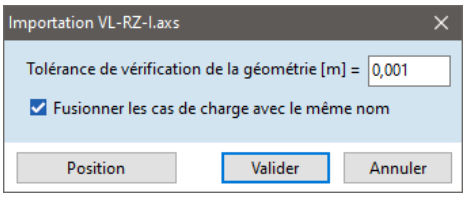
L'utilisateur peut contrôler ce qui se passe si certains éléments sont manquants dans le fichier qui arrive. Les deux options

- Garder les éléments originaux inchangés
- Les supprimer

Pour l'instant, l'échange de fichiers basé sur la comparaison ne prend en charge que les éléments linéaires, les domaines et les appuis.

3.1.7.7. Importation de fichiers AXS AxisVM

*AxisVM *.axs*



Importe un projet depuis un fichier AxisVM existant dans AxisVM, et le fusionne avec le projet actuel. Pendant le processus de fusion, la commande Contrôle de la géométrie (voir... section *4.8.19. Vérification de la géométrie*) est automatiquement appliquée.
S'il existe différentes propriétés attribuées aux mêmes éléments fusionnés, les propriétés du projet actuel seront conservées. Les groupes et combinaisons de charge, s'il y en a, sont ajoutés aux groupes et combinaisons existants en tant que nouveaux groupes et combinaisons, et les cas de charge en tant que nouveaux cas. Si aucun groupe ou combinaison de charge n'est défini dans le projet importé, les cas de charge seront ajoutés aux cas existants en tant que nouveaux cas.
Si le même cas de charge existe dans les deux projets, les charges seront fusionnées si la case *Fusionner les cas de charge portant le même nom* est cochée.

Si les deux projets contiennent des charges limitées à une seule occurrence (par exemple thermique) dans le même cas de charge, la charge du projet actuel sera conservée.
Les lignes de section transversale/parties de plan portant le même nom sont fusionnées, sinon elles sont annexées.

Lors de l'importation d'un fichier AxisVM, une boîte de dialogue s'affiche.
Utilisez le bouton "*Position*" pour positionner graphiquement le projet importé dans l'espace de votre projet.

3.1.7.8. Importation de fichiers provenant d'autres applications

*Stéréolithographie *.stl*

Lit le maillage triangulaire décrivant la surface d'un projet à partir d'un fichier au format STL (binaire ou texte). Les nœuds multiples et les triangles dégradés sont filtrés. L'importation peut également être transférée sur un calque d'arrière-plan.

*Fichier Interface Bocad *.sc1*

Ouvre un fichier de données créé par le logiciel de construction métallique Bocad *(*.sc1)* et importe les sections transversales et la géométrie des poutres.

*Fichier Glaser -isb cad- *.geo*

Importe des fichiers *.geo* exportés par Glaser -isb cad- décrivant des projets de poutres ou surfaciques.

Fichier SDNF (Steel Detailing Neutral Format)

Importe un fichier exporté dans le format Steel Detailing Neutral Format utilisé dans l'échange de données entre les programmes de dessin de l'acier.

*Fichier Format DSTV *.stp*

Dans sa version actuelle, AxisVM est capable d'importer des fichiers stp mettant en œuvre le schéma de fichiers "PSS_2000_04" basé sur la "Description standard pour la construction métallique de l'interface produit 4/2000". Ce type de fichier est conçu pour stocker les données des structures en acier, et peut décrire des structures linéaires ainsi que des régions planes. Même les calculs statiques peuvent être importés via cette interface, bien que les capacités soient limitées.
Si des calculs statiques et un projet architectural sont tous deux intégrés dans le fichier, l'utilisateur peut choisir d'importer soit le calcul, soit le projet architectural. Lorsqu'il tente d'importer des données sur un projet existant, l'utilisateur peut choisir entre l'écraser ou simplement le compléter.

3.1.8. Étude paramétrique

"L'étude paramétrique est basée sur l'idée que des nombres spécifiques, c'est-à-dire les paramètres, contrôlent la géométrie. Pour exploiter pleinement son potentiel, ces paramètres sont liés les uns aux autres, et ces liens forment un système. Ainsi, il est possible qu'en modifiant un seul paramètre, toute la géométrie change. Cette idée est régulièrement utilisée dans l'étude des structures. Imaginez qu'en modifiant seulement la portée d'une ferme, la hauteur et la disposition de la ferme sont automatiquement mises à jour dans le projet 3D et dans les dessins d'atelier.

La construction d'un système capable de faire cela demande du temps, et il est donc essentiel de réfléchir à la question de savoir si cela vaut la peine de créer un projet paramétrique. Cependant, une fois que nous avons construit un tel système de paramètres, des liens et un projet changeant dynamiquement, nous disposons d'un outil très flexible".

Basé sur l'article de Péter Romvári: L'étude *paramétrique en pratique* dans *epiteszforum.hu*

Compléments d'exportation AxisVM

Les logiciels d'étude paramétrique les plus couramment utilisés dans l'étude de structures sont Grasshopper et Dynamo. Ils sont souvent appelés éditeurs d'algorithmes graphiques qui peuvent être utilisés pour créer facilement des projets paramétriques. En utilisant les compléments d'exportation AxiVM, les projets paramétriques créés dans Grasshopper/Dynamo peuvent être exportés vers AxisVM. Tout d'abord, le complément AxisVM Export doit être installé dans Grasshopper/Dynamo. Le complément AxisVM Export communique avec AxisVM via son API (interface COM). L'exportation nécessite qu'AxisVM et une version de Grasshopper/Dynamo soient tous installés sur le même ordinateur. Après avoir lancé l'exportation, AxisVM se lance automatiquement, en affichant le projet exporté.
Un des avantages de cette interface est qu'il est facile de créer des projets paramétriques et même des projets dans Grasshopper/Dynamo. Par exemple, les paramètres d'une ferme peuvent être la portée, la hauteur, la disposition et les dimensions de la section transversale. L'autre avantage est que dans Grasshopper/Dynamo il y a beaucoup de fonctions géométriques, ce qui permet de créer des projets spatiaux complexes.

Actuellement, les projets avec des lignes droites peuvent être exportés vers AxisVM. Deux options d'exportation sont disponibles :

- Les lignes d'exportation ;
- Les éléments d'exportation, pour lesquels le type d'élément (ferme, poutre, nervure), les propriétés du matériau et la section transversale doivent être définis.

Actuellement, seules les propriétés suivantes peuvent être utilisées :

- Propriété matérielle : selon les Eurocodes (de la bibliothèque de matériau AxisVM) ;
- Section transversale : section transversale en I, section transversale creuse (tuyau, boîte), section transversale pleine ronde et rectangulaire (extrait de la bibliothèque de sections transversales d'AxisVM).

3.1.8.1. Complément GRASSHOPPER/RHINOCEROS

*Fichiers *.gh, *.3dm*

Grasshopper est l'outil de conception paramétrique du logiciel de CAO Rhinoceros. Grasshopper peut être lancé à partir de Rhinocéros. Pour exporter le contenu d'un fichier .gh*, l'add-on Grasshopper To AxisVM doit être installé dans Grasshopper dans Rhinocéros version 6 ou 7. Après installation, les fonctions de modélisation et d'exportation (composants) sont disponibles dans le menu Grasshopper, dans l'onglet AxisVM. Les fichiers Rhinoceros (.3dm) doivent être chargés dans Grasshopper avant d'être exportés vers AxisVM.

Après l'exportation, le modèle AxisVM est indépendant du modèle paramétrique. Lorsque les paramètres changent, le modèle AxisVM suit automatiquement les modifications. Après l'export, le projet final AxisVM peut être modifié par l'utilisateur. Ces modifications ne fournissent aucun retour vers Grasshopper, elles n'ont donc aucune influence sur les paramètres de Grasshopper.

L'add-on AxisVM peut être téléchargé à partir de
https://www.food4rhino.com/en/app/grasshoppertoaxisvm.
Pour plus de détails, des fichiers d'exemple et un guide d'installation, voir :
https://axisvm.eu/axisvm-downloads/ dans le bloc POSSIBILITÉS D'AXIS VM POUR LA CONCEPTION PARAMÉTRIQUE.

3.1.8.2. Complément DYNAMO / AUTODESK

*Fichiers *.dyn, *.rvt*

Dynamo est un outil d'étude paramétrique du logiciel Autodesk Revit. Dynamo peut être lancé soit à partir de Revit, soit en tant que logiciel indépendant (Dynamo Studio, Dynamo Sandbox). Pour exporter un fichier avec l'extension *.dyn, le complément AxisVM Export doit être installé dans Dynamo. Après l'installation, les fonctions de modélisation et d'exportation (nœuds) sont disponibles dans le menu de gauche de Dynamo, dans le menu déroulant d'AxisVM. Les fichiers Revit (*.rvt) doivent être chargés dans Dynamo avant d'être exportés vers AxisVM.

Dans Dynamo, avant de commencer l'exportation, il faut d'abord créer un nouveau projet en utilisant le nœud AxModel. Le poids propre, la charge nodale et les appuis nodaux peuvent être ajoutés au projet structurel paramétrique. Après avoir lancé l'exportation, un lien unidirectionnel est créé entre le projet paramétrique et le projet AxisVM. Cela signifie que la modification d'un paramètre (géométrique ou structurel) dans Dynamo met automatiquement à jour le projet structurel dans AxisVM. Dans AxisVM, d'autres éléments structuraux peuvent être ajoutés, mais ceux-ci n'influencent pas le projet paramétrique de Dynamo. Dans Dynamo, il est possible de lancer une analyse statique linéaire AxisVM. Le lien entre les projets est détruit en fermant l'un des projets.

La façon la plus simple de télécharger le complément AxisVM Export est de le faire à partir du logiciel Dynamo: allez dans le menu "Packages" de Dynamo, puis choisissez "Search for a Package..." et type AxisVM Export. Pour plus de détails, des exemples de fichiers et le guide d'installation, voir: *https://github.com/AxisVM/DynamoToAxisVM/wiki*

AxisVM est capable de communiquer avec les logiciels Tekla Structures de différentes manières en cas de présence de :

- Version 2019 et suivantes,
- Version avant 2019.

3.1.9. TEKLA STRUCTURES- Connexion AxisVM - Module TI

AxisVM est capable de communiquer avec les logiciels Tekla Structures de différentes manières en cas de présence de :

- Version 2019 et suivantes,
- Version avant 2019.

3.1.9.1. Connexion bidirectionnelle pour Tekla Structures versions 2019 et ultérieures

Configuration

Si l'utilisateur choisit d'installer le complément Tekla, l'installateur AxisVM copie tous les fichiers nécessaires, y compris le complément *AxisVM Import & Export* pour Tekla. Aucune autre activité de l'utilisateur n'est requise. Si le module **TI** est inclus dans la configuration d'AxisVM, la connexion bidirectionnelle est fonctionnelle après l'installation d'AxisVM.

Le complément *AxisVM Import & Export* pour Tekla Structures peut être installé séparément. Téléchargez le programme d'installation gratuit et séparé sur le site web d'AxisVM.

3.1.9.1.1. Transfert du projet d'AxisVM vers Tekla Structures

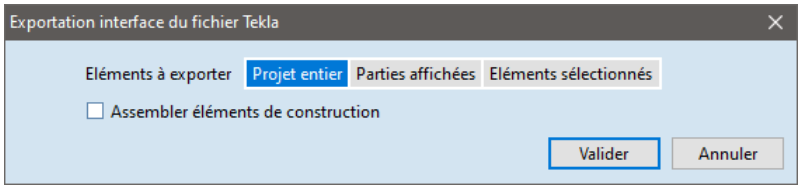
AxisVM avec un module **TI** peut exporter le projet vers Tekla Structures en créant un fichier avec l'extension TAE. Ce fichier TAE peut être lu par Tekla à l'aide d'un complément Tekla dédié qui construit le projet à l'aide des commandes Open API de Tekla.

Éléments exportés

AxisVM peut exporter les éléments suivants : fermes, poutres, nervures, domaines, appuis et armatures réelles. Le complément *AxisVM Import & Export* pour Tekla Structures permet de filtrer les éléments. Les données exportées comprennent la géométrie des éléments, le matériau et la section transversale des éléments linéaires, le matériau des domaines et les valeurs de rigidité des appuis nodaux. Les charges et les combinaisons de charges ne sont pas encore exportées.

Exportation vers le fichier TAE

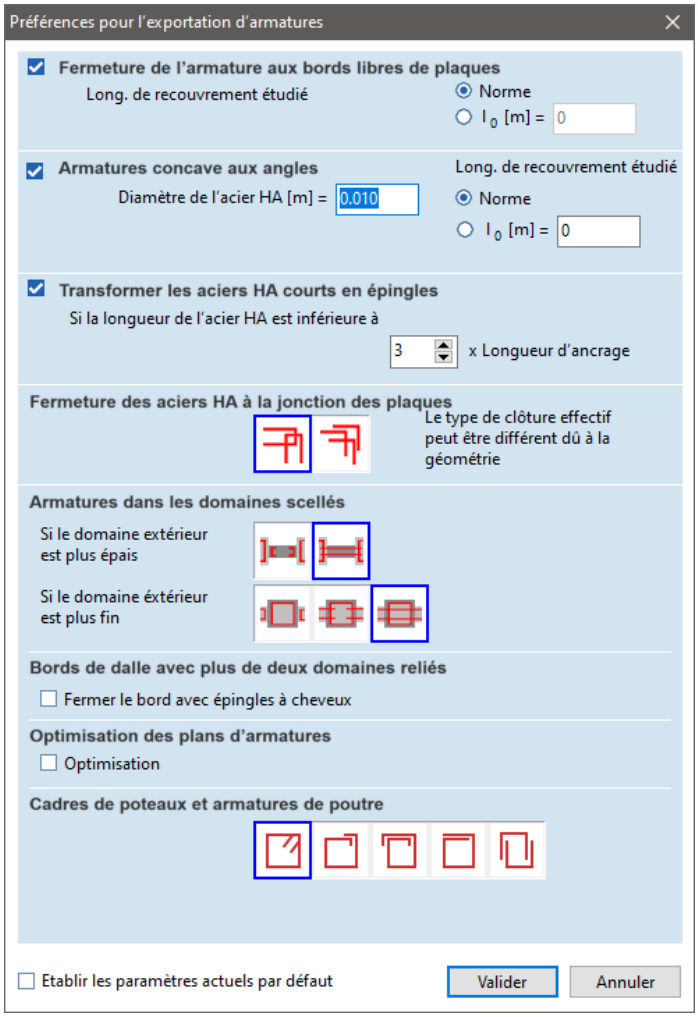
L'exportation peut être lancée à partir d'AxisVM via le menu principal : *Fichier / Exporter / Exporter vers Tekla (*.TAE)*.
Cliquez sur le bouton Paramètres pour définir les options disponibles.



Projet complet : toutes les données sont exportées
Parties affichées : seules les parties actives actuelles sont exportées
Éléments sélectionnés : seuls les éléments sélectionnés sont exportés
Assembler des éléments de structure: créer des éléments de structure à partir d'éléments situés sur la même ligne et ayant les mêmes propriétés

Exporter les armatures réelles

Depuis la version 4 de X6, les utilisateurs peuvent exporter des armatures vers des fichiers .TAE.



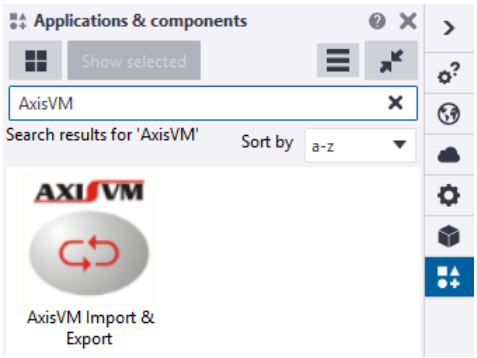
L'algorithme d'AxisVM permet d'exporter non seulement un ensemble d'armatures utilisé mais aussi les aciers HA façonnées, tel que les cadres, étriers, épingles, etc.
Les longueurs brutes des aciers HA calculées sont toujours arrondies à la valeur la plus proche de ce tableau: 0.4, 0.5, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.5, 2.0, 2.4, 3.0, 4.0, 6.0, 12.0 m.

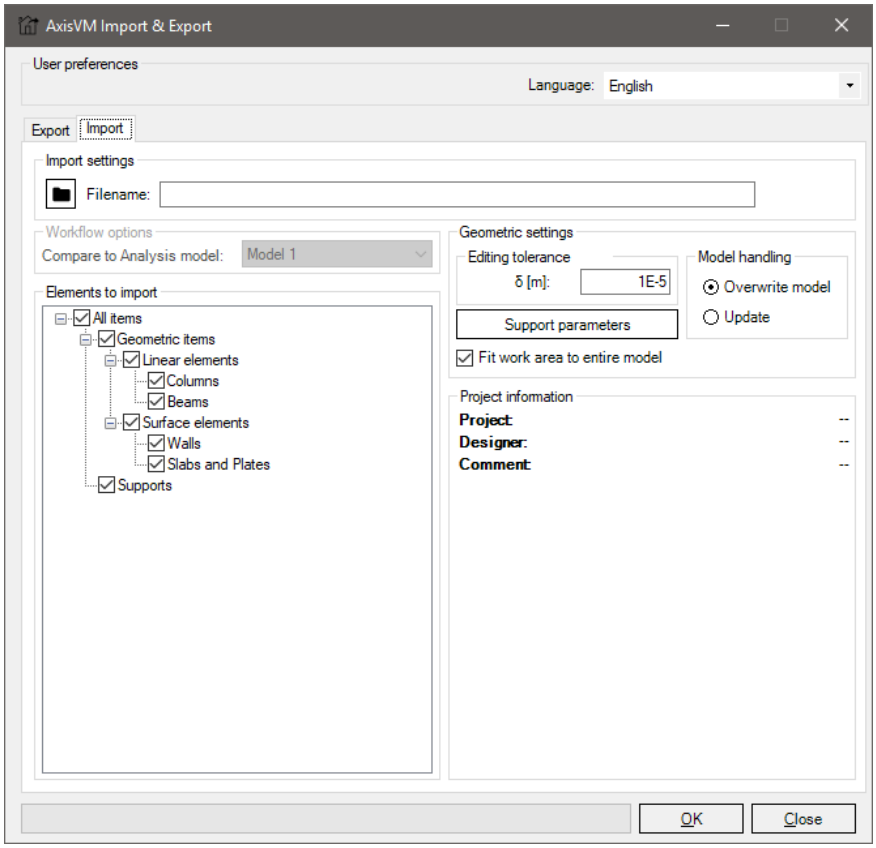
- *Fermeture de l'armature aux bords libres de plaques* : les bords des plaques libres sont fermés par des épingle, dont les longueurs sont calculées sur la base de la longueur de recouvrement des barres, qui est calculée selon le code d'étude, ou peuvent être saisies manuellement comme *l0*. Cette option peut être activée ou désactivée.
- *Armatures concaves aux angles : les* angles concaves peuvent être renforcés par de simples aciers HA, dont la longueur est calculée en fonction de la longueur de recouvrement des aciers HA, qui est calculée selon le code d'étude, ou peut être saisie manuellement comme *l0*. Cette option peut être activée ou désactivée.
- *Transformer les aciers HA courts en épingles :* pour éviter de dupliquer inutilement les aciers HA d'armature, cet algorithme utilise une valeur de multiplicateur. Les aciers HA simples ayant une longueur supérieure à la longueur de contour minimale multipliée par cette valeur, seront converties en épingles fermés. Cette option peut être activée ou désactivée.
- *Fermeture des aciers HA à la jonction des plaques :* le long des bords des plaques qui ne partagent pas le même plan, l'algorithme peut relier les armatures des plaques individuelles soit par des épingles soit par des cadres. La géométrie réelle de ces aciers HA profilées dépend de la largeur et de l'angle des plaques de jonction. L'algorithme peut réviser le choix de l'utilisateur. Les dimensions des aciers HA profilées sont calculées par rapport à la longueur minimale de recouvrement.
- *Armatures dans les domaines imbriqués :* la méthode de fermeture ou de maintien des aciers HA *des* domaines imbriqués peut être choisie. Si le domaine intérieur est suffisamment petit, les aciers HA du domaine extérieur peuvent tout aussi bien être intégrés dans la pièce
- *Bords de dalle avec plus de deux domaines reliés : il* n'y a pas de solution automatique dans ces cas-là, l'utilisateur peut donc choisir d'ignorer ces bords ou de les fermer un par un.
- *Optimisation des plans d'armatures :* Optimisation de la position des aciers HA pour répartir uniformément les armatures si les domaines des armatures se chevauchent. Peut prendre beaucoup de temps.

  Cadres de poteaux et armatures de poutres : les cadres d'armatures de poteaux et de poutres utilisés sont exportés. Si l'espacement des cadres n'a pas été défini, la valeur par défaut peut être exportée en option.

Importer un fichier TAE vers Tekla Structures

Le fichier avec l'extension .TAE peut être importé dans Tekla Structures via un complément dédié. Assurez-vous que la boîte de dialogue des *projets d'analyse et d'étude* est fermée pendant le processus d'importation car elle le ralentit considérablement. Recherchez "AxisVM" dans le catalogue *Applications & composants de* Tekla Structures et double-cliquez sur l'option AxisVM *Import & Export pour l'ouvrir* et passer à son *onglet* Import. La boîte de dialogue suivante s'affiche





Paramètres d'importation Appuyez sur le bouton à gauche de l'annotation *Nomdefichier*. Un aperçu du projet à importer s'affichera dans le coin inférieur droit.

Éléments à importer Les éléments importés peuvent être filtrés en vérifiant les nœuds.

Options de flux de travail Actif uniquement si le *traitement des projets est* réglé sur *Mise à jour*. Sélectionnez le projet d'analyse auquel vous souhaitez comparer le projet importé.

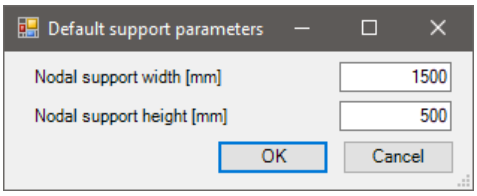
Tolérance d'édition Tolérance utilisée lors du calcul de la géométrie.

gestion des projets

Écraser le projet Tous les objets existants seront supprimés avant d'importer le projet.

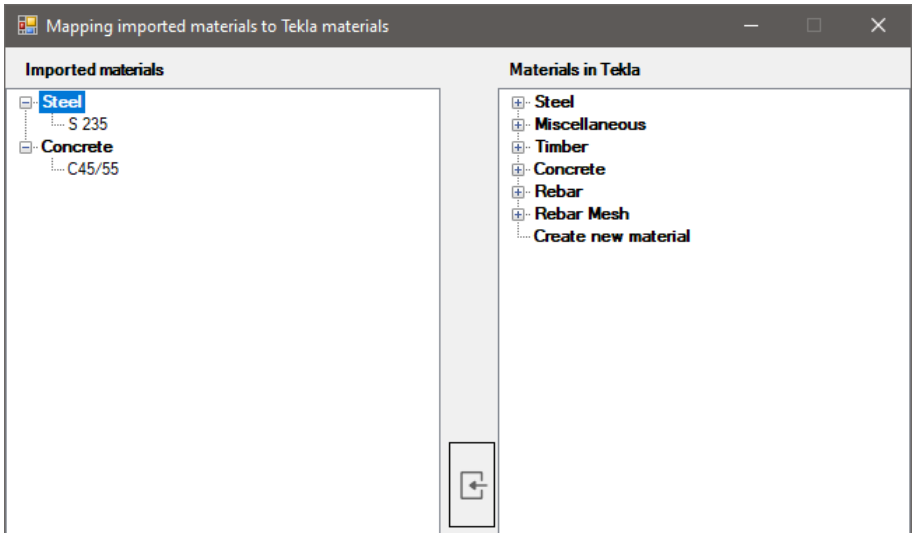
Mise à jour Choisissez cette méthode pour comparer le projet existant à celui qui a été importé. Les éléments modifiés seront mis à jour. Après avoir cliqué sur le bouton VALIDER, d'autres options seront affichées.

Paramètres d'appui La géométrie des appuis nodaux dans Tekla sera créée à partir de paramètres par défaut. Cliquez sur le bouton *Paramètres d'appui* pour ajuster ces valeurs.



Informations sur le projet Informations sur le projet AxisVM exporté.

Mis en cohérence des matériaux Comme l'équivalent Tekla d'un matériau AxisVM ne peut pas être trouvé automatiquement, la mise en cohérence des matériaux doit être effectué manuellement dans le dialogue suivant.



Sélectionnez un matériau AxisVM dans l'arbre de gauche, sélectionnez son matériau correspondant dans Tekla sur la droite puis cliquez sur le bouton entre les deux vues pour faire correspondre le matériau importé au matériau Tekla. La sélection dans l'arbre de gauche saute au matériau non apparié suivant. Le nom du matériau apparié devient rouge, les matériaux non appariés sont noirs.
Si une catégorie de matériau est sélectionnée à gauche (et non un matériau), tous les matériaux de ce type seront mis en correspondance avec le même matériau dans Tekla.
Il est également possible de créer un nouveau matériau Tekla basé sur les propriétés d'un matériau AxisVM en sélectionnant Créer un nouveau matériau dans l'arbre de droite.
Si tous les matériaux importés correspondent, le bouton OK devient actif et l'importation du modèle peut être poursuivie.

3.1.9.1.2. Transfert du projet d'analyse de Tekla Structures vers AxisVM

Le complément *AxisVM Import & Export de* Tekla Structures peut exporter les données du projet vers un fichier avec l'extension TAE. Ce fichier peut être importé dans AxisVM.

Données exportées

Le complément exporte les éléments suivants : éléments linéaires avec leur matériau et leur section transversale, domaines avec leur matériau, appuis nodaux, charges et combinaisons de charges. Seuls les éléments présents dans le projet d'analyse choisi dans Tekla seront exportés. Les appuis doivent être définis comme des appuis ponctuels distincts. Les éléments linéaires avec une section transversale personnalisée ne sont pas convertis en projet statique et ne sont exportés que sous forme de forme personnalisée.

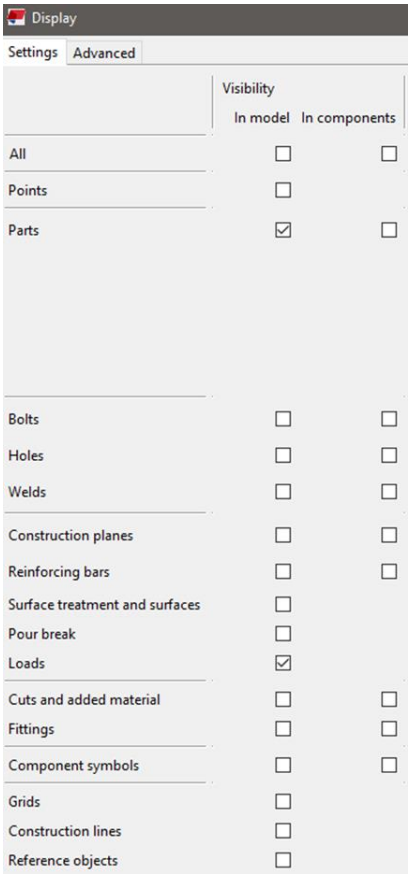
Préparation

Il est important de créer correctement le projet d'analyse dans Tekla afin qu'AxisVM puisse fonctionner sans autres ajustements. Pour générer un bon projet d'analyse, définissez les propriétés telles qu'elles apparaissent sur cette image.

Les paramètres optimaux peuvent varier en fonction du projet et il se peut que vous deviez configurer les propriétés d'analyse des pièces individuellement.

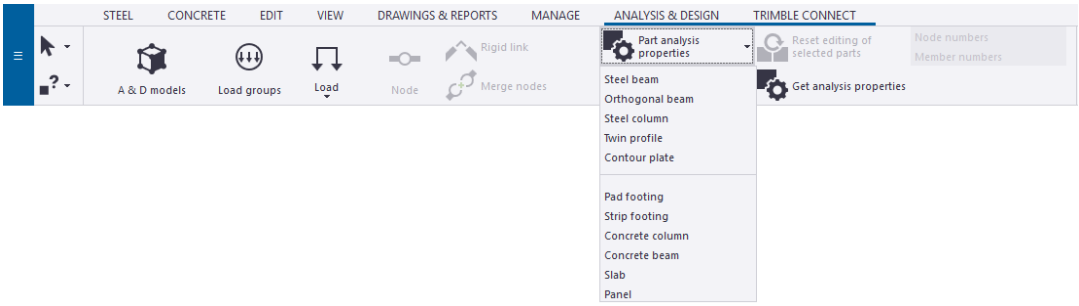
Avant de créer le projet d'analyse, il est utile de n'afficher que les éléments pertinents. Vous pouvez configurer les éléments qui sont visibles dans les propriétés de la vue.

Avec seulement les éléments pertinents affichés, sélectionnez le projet entier et définissez les propriétés d'analyse de chaque partie. De cette façon, le projet d'analyse créé aura les bonnes propriétés par défaut et il minimise les ajustements ultérieurs nécessaires.

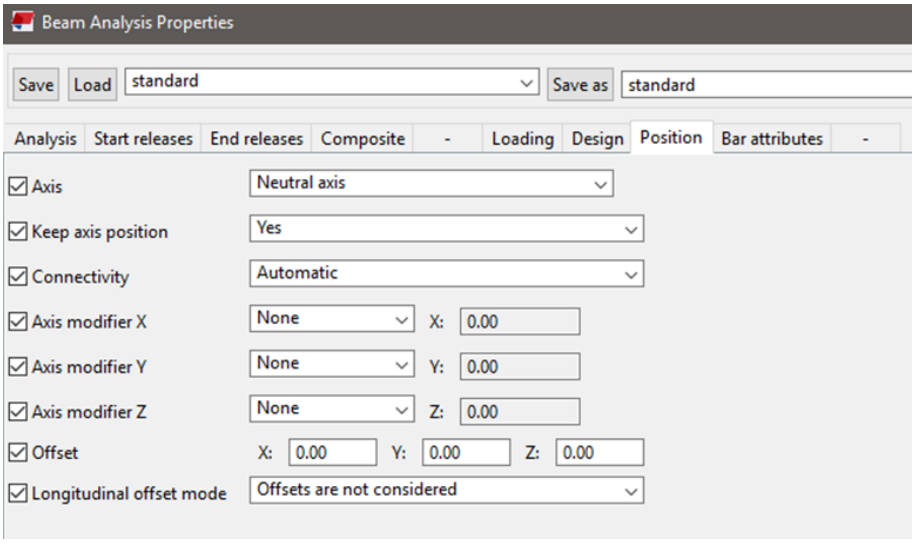


Définition des propriétés d'analyse des pièces

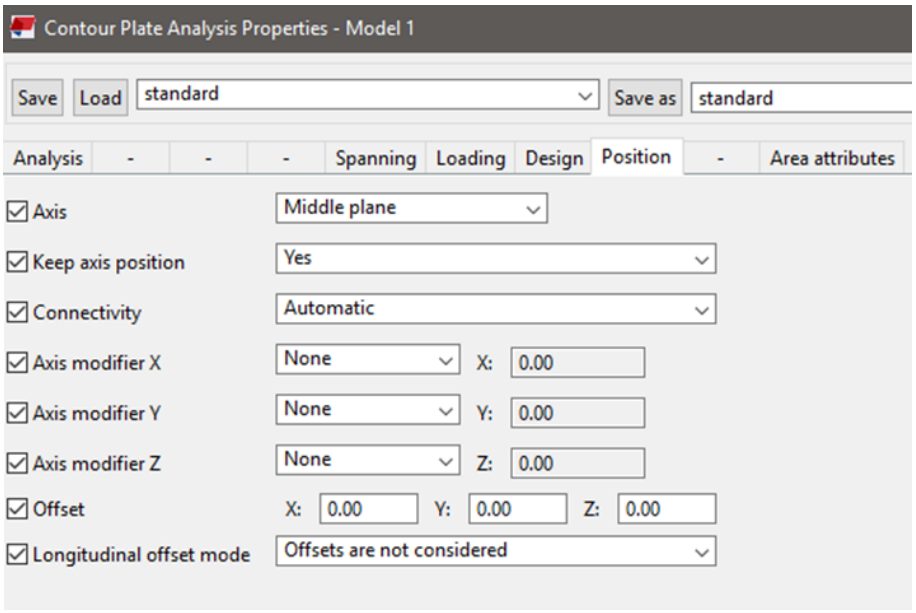
Vous pouvez accéder aux propriétés de l'analyse des pièces dans le menu ci-dessous:



Pour les poutres et les poteaux, définissez ces paramètres dans l'onglet *Position:*



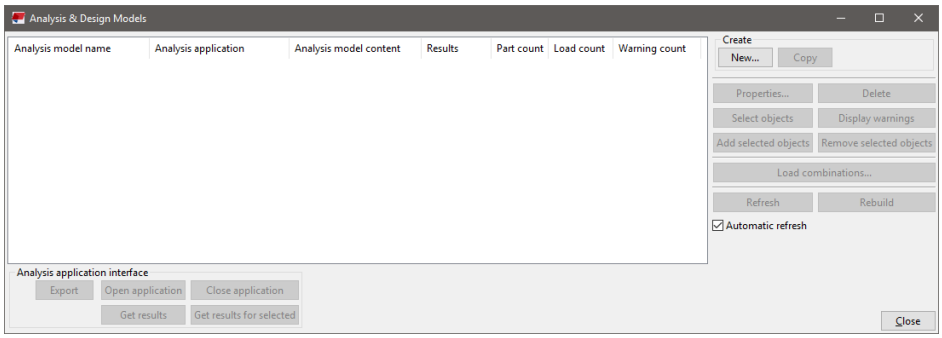
Pour les plaques de contour, les dalles et les panneaux, réglez ces paramètres dans l'onglet *Position:*



Création du projet d'analyse

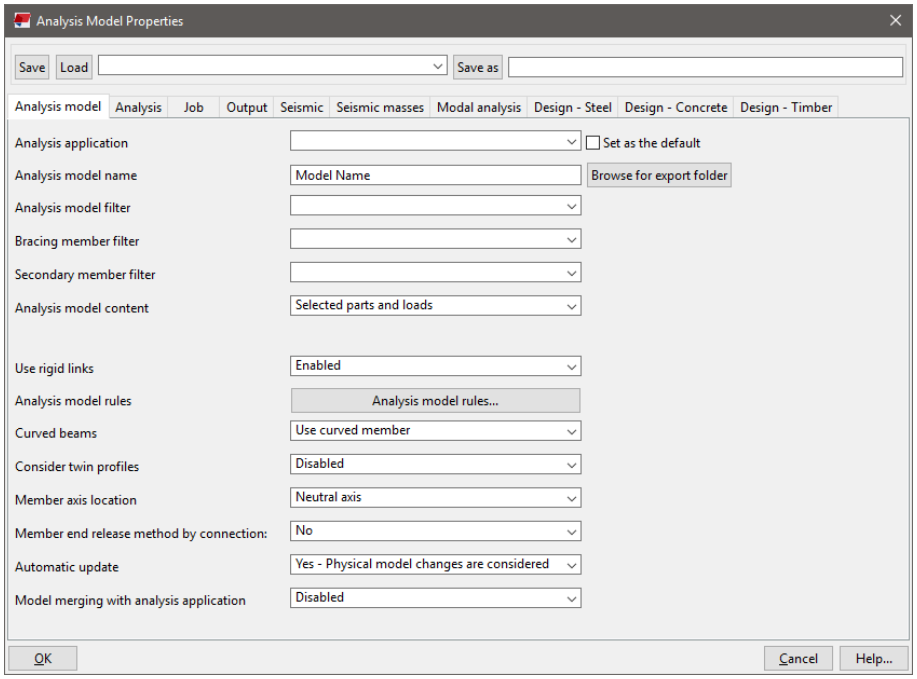
Après avoir défini les propriétés d'analyse de chaque pièce, vous pouvez créer le projet d'analyse.

1. Ouvrez la boîte de dialogue Projets d'analyse et d'étude.



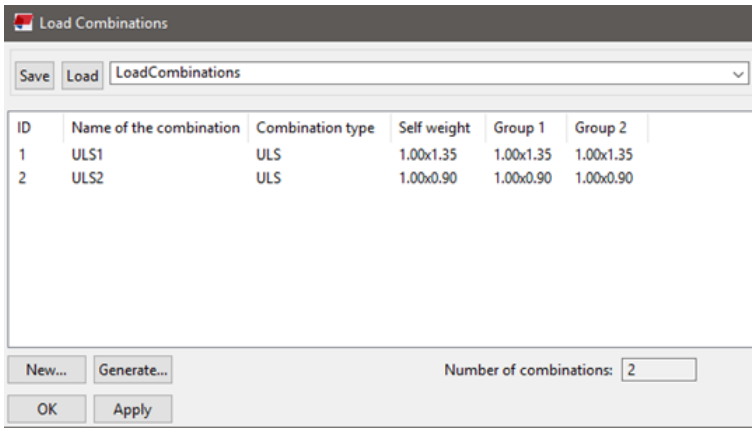
2. Appuyez sur *Nouveau...* pour créer un nouveau projet d'analyse avec les paramètres ci-dessous:

Propriétés du projet d'analyse



3. Sélectionnez les pièces et les charges que vous souhaitez ajouter au projet d'analyse et cliquez sur le bouton *Ajouter les objets sélectionnés*. Pour supprimer des éléments du projet d'analyse, sélectionnez-les et cliquez sur le bouton *Supprimer les objets sélectionnés*.

4. Appuyez sur *Charger* les combinaisons... pour configurer les combinaisons de chargement.



5. Vérifiez s'il existe des avertissements indiqués par Tekla Structures et essayez de les résoudre.

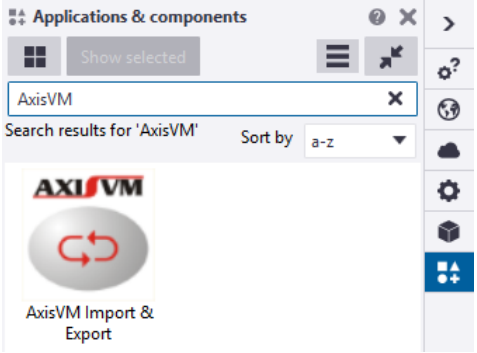


L'exportation du Projet d'analyse au dossier TAE

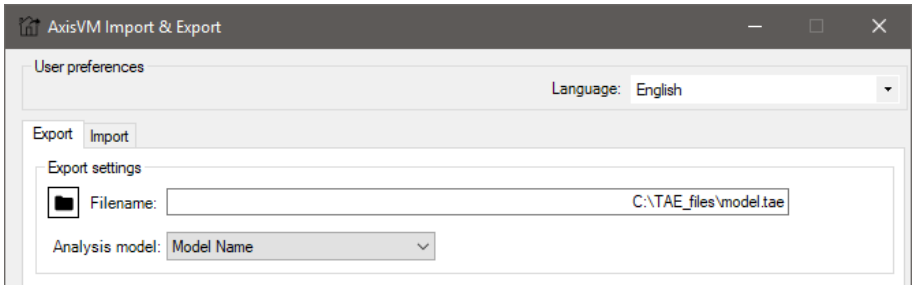
1. Cherchez "AxisVM" dans le catalogue *Applications & composants* et ouvrez le *complément* AxisVM *Import & Export* en double-cliquant dessus.

2. Sélectionnez l'endroit où vous souhaitez enregistrer le fichier TAE et choisissez un nom pour celui-ci. Vous devez également choisir le projet d'analyse que vous souhaitez exporter.

Appuyez sur *VALIDER* pour lancer le processus d'exportation.



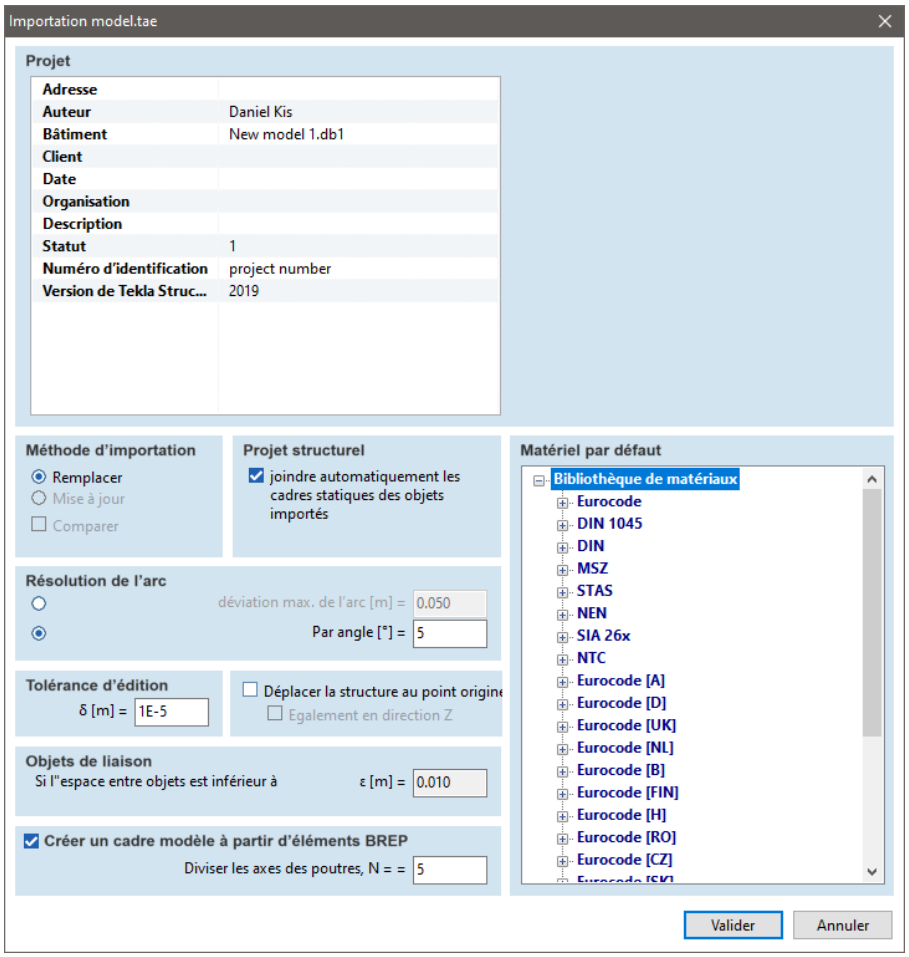
Exporter le projet



Si vous voyez le message "*Exportation de données réussie*", *c'est que* l'opération a réussi.
Le fichier résultant avec l'extension .tae peut être soit déposé sur l'interface utilisateur d'AxisVM, soit importé via *Fichier / Importer*.

Importation du fichier TAE dans AxisVM

Lors de l'importation du fichier dans AxisVM, une boîte de dialogue s'affiche:



Projet Les informations sur le projet telles que définies dans Tekla.

Méthode d'importation Si le projet AxisVM n'est pas vide, deux options sont disponibles pour écraser le projet ou le mettre à jour.

Projet structurel Si cette option est activée, AxisVM modifie les données géométriques brutes pour construire une ossature structurel approprié. Les poutres en collision sont connectées à un corps rigide, les domaines voisins sont joints, les poutres courant sur un domaine sont converties en nervures. Certains de ces calculs nécessitent des ressources considérables et peuvent ralentir le processus d'importation.

Résolution de l'arc Certains calculs de géométrie nécessitent la conversion d'arcs en polylignes. Le critère de conversion peut être défini ici.

Tolérance d'édition Tolérance utilisée lors du calcul de la géométrie.

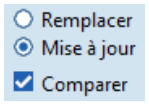
La jonction des objets Pour améliorer l'efficacité de la détection des collisions, les boîtes de délimitation des objets sont un peu gonflées. Cette valeur de tolérance peut être définie ici. Active uniquement si la case à cocher sur le *projet structurel du* panneau est cochée.

Matériau par défaut Les utilisateurs peuvent sélectionner le matériau attribué aux entités pour lesquelles Tekla n'a fourni aucune information.

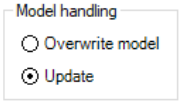
3.1.9.1.3. Flux de travail entre AxisVM et Tekla Structures

AxisVM et Tekla Structures peuvent partager un flux de travail entre elles. Il s'agit d'une comparaison entre l'exportation et l'importation. Ainsi, les ingénieurs travaillant sur un même projet peuvent importer des entités nouvelles ou modifiées sans affecter les éléments inchangés.
Le processus de flux de travail peut être lancé à la fois à partir d'AxisVM et de Tekla Structures.
Pour que la comparaison ait lieu, vous devez choisir "*Mise à jour*" sur le formulaire et cocher la case ci-dessous :

AxisVM:



Tekla:



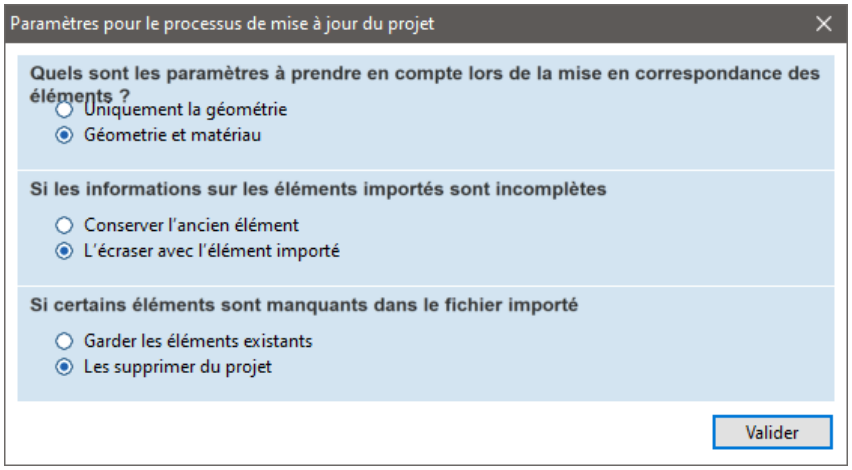
Importer vers AxisVM Lors de l'importation d'un projet Tekla dans AxisVM, trois scénarios de base sont traités :

1. L'élément à importer ne se trouve pas dans le projet d'analyse, il peut donc être simplement traité et importé.
2. Un ou plusieurs éléments du projet réel ne se trouvent pas dans le fichier à importer. Dans ce cas, les utilisateurs peuvent choisir soit de supprimer ces éléments, soit de les ignorer et de les laisser intacts.
3. L'article à importer se trouve dans le projet réel. Dans ce cas, nous effectuons une comparaison basée sur
    a) la matière des éléments
    b) le projet statique des éléments
    c) le profil ou l'épaisseur des éléments.

Si, après cela, nous les trouvons égales, l'article importé est ignoré. En revanche, s'ils sont différents, l'article qui arrive est traité et le premier est supprimé. Lorsque - pour une raison quelconque - nous ne pouvons pas effectuer une comparaison réussie, l'utilisateur doit décider s'il conserve l'article existant ou s'il importe le nouvel article.

Ces préférences peuvent être ajustées avant le processus d'importation proprement dit sur le formulaire ci-dessous :

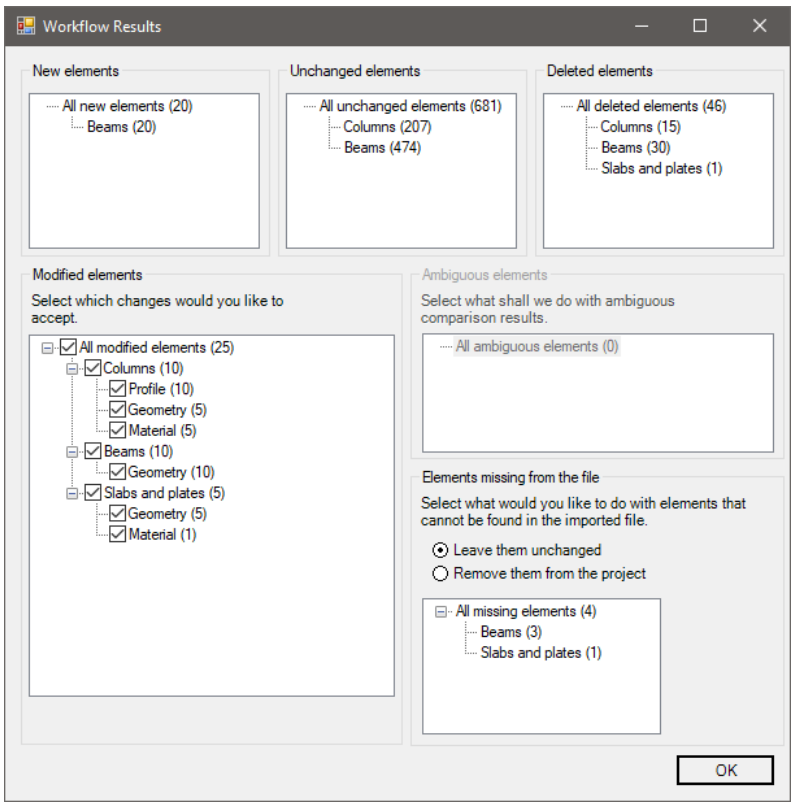
Formulaire AxisVM



Importer vers Tekla Structures Lors de l'importation d'un projet AxisVM dans Tekla Structures, nous effectuons une comparaison basée sur :

a) la matière des éléments
b) le projet statique des éléments
c) le profil et l'épaisseur des éléments
d) Caractéristiques du ressort

Après la comparaison, vous pouvez examiner les résultats de la comparaison et personnaliser les actions à effectuer.



Nouveaux éléments Cette liste indique les éléments créés dans AxisVM depuis la dernière exportation. Ces éléments seront toujours créés après l'importation.

Éléments inchangés Aucun changement n'a été apporté à ces éléments. Nous les laissons tels quels.

Éléments modifiés Les éléments qui ont été modifiés dans AxisVM sont énumérés ici. Chaque modification est acceptée par défaut. Décochez les modifications que vous ne souhaitez pas effectuer.
La sélection d'un nœud met en évidence les éléments connexes.

Éléments supprimés Ces éléments ont été supprimés dans AxisVM depuis la dernière exportation. Ils sont supprimés après le processus d'importation.

Éléments manquants Ces éléments ne se trouvent pas dans le fichier importé mais sont présents dans le projet Tekla. Vous pouvez choisir soit de supprimer ces éléments, soit de les ignorer et de les laisser intacts.

Éléments ambigus Si un élément comporte des informations incomplètes ou si nous ne pouvons pas le comparer pour une raison quelconque, alors il apparaîtra ici. Vous pouvez décider si vous voulez que ces éléments écrasent les éléments actuels ou si vous voulez conserver les anciens éléments.

3.1.9.2. Connexion unidirectionnelle pour les versions de Tekla Structures avant 2019

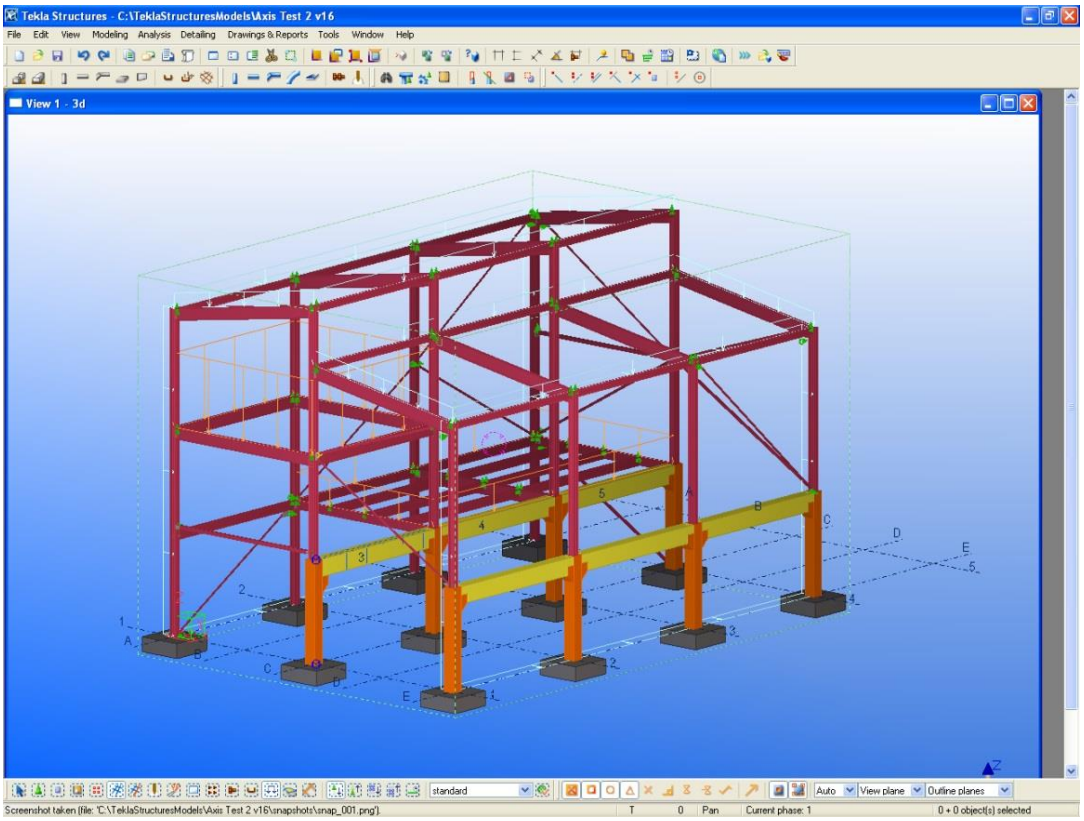
La connexion entre les deux logiciels se fait par l'intermédiaire d'un serveur COM capable d'exécuter AxisVM. Pour que la connexion fonctionne, le serveur COM doit d'abord être enregistré dans le système d'exploitation (dans le registre), puis Tekla Structures doit être informé qu'un serveur compatible est disponible.
La configuration d'AxisVM effectue automatiquement ces opérations d'enregistrement, mais si Tekla Structures n'est pas installé, le deuxième enregistrement ne peut pas être effectué. Par conséquent, après l'installation de Tekla Structures, l'enregistrement doit être relancé en exécutant deux fichiers batch à partir du dossier du programme AxisVM:

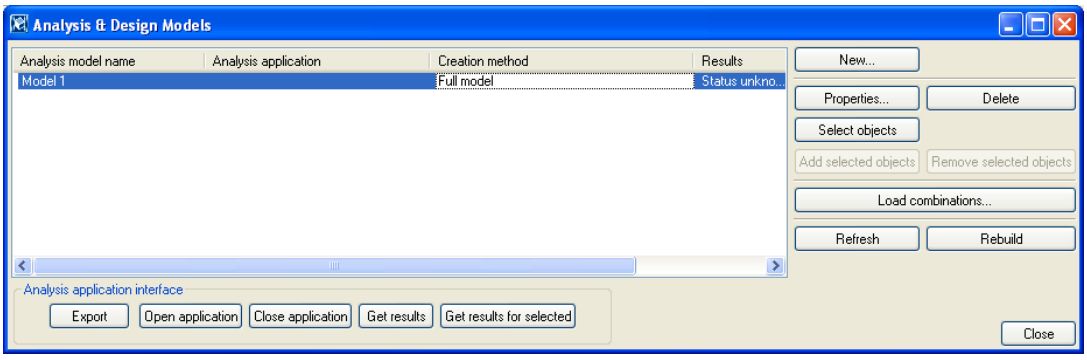
```
!REGISTER_AXISVM_X64.BAT
!REGISTER_TEKLA_X64.BAT
```

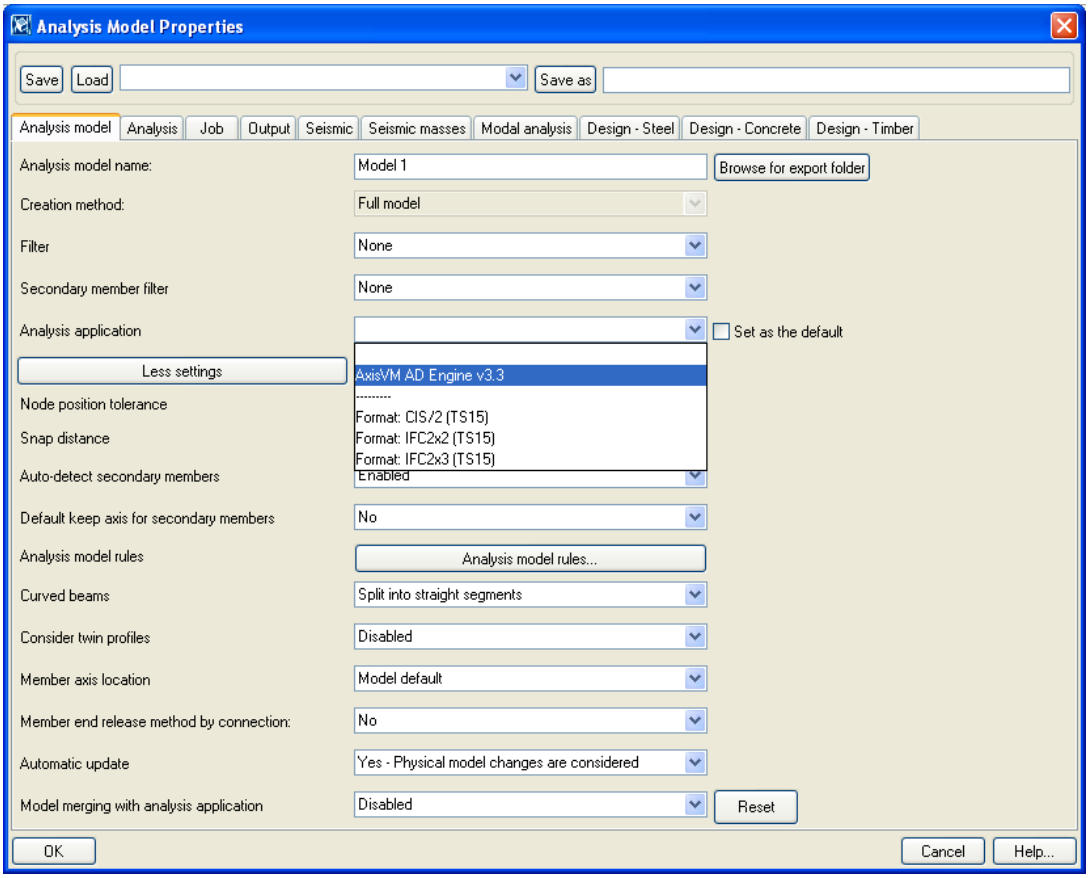
Si les connexions échouent à tout moment, il est recommandé de procéder à un nouvel enregistrement.

Connexion

Après un enregistrement réussi, le projet construit dans Tekla Structures peut être transféré vers AxisVM de la manière suivante: cliquez sur *Analyse & Étude de projets... dans* le menu *Analyse* puis cliquez sur le bouton *Propriétés* pour définir AxisVM AD Engine comme *moteur d'analyse.*

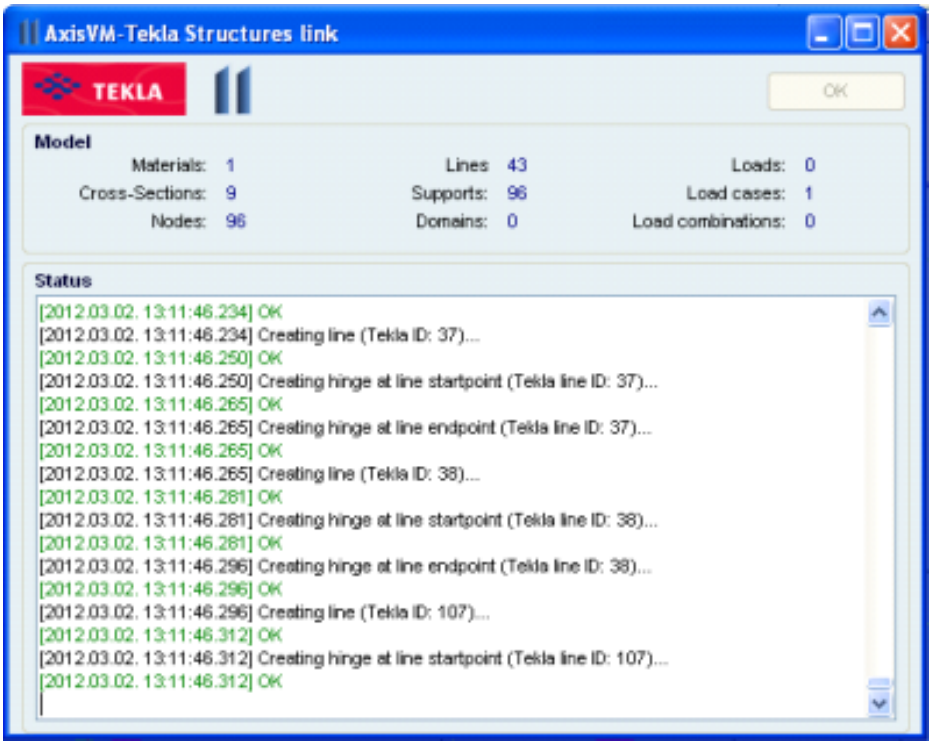




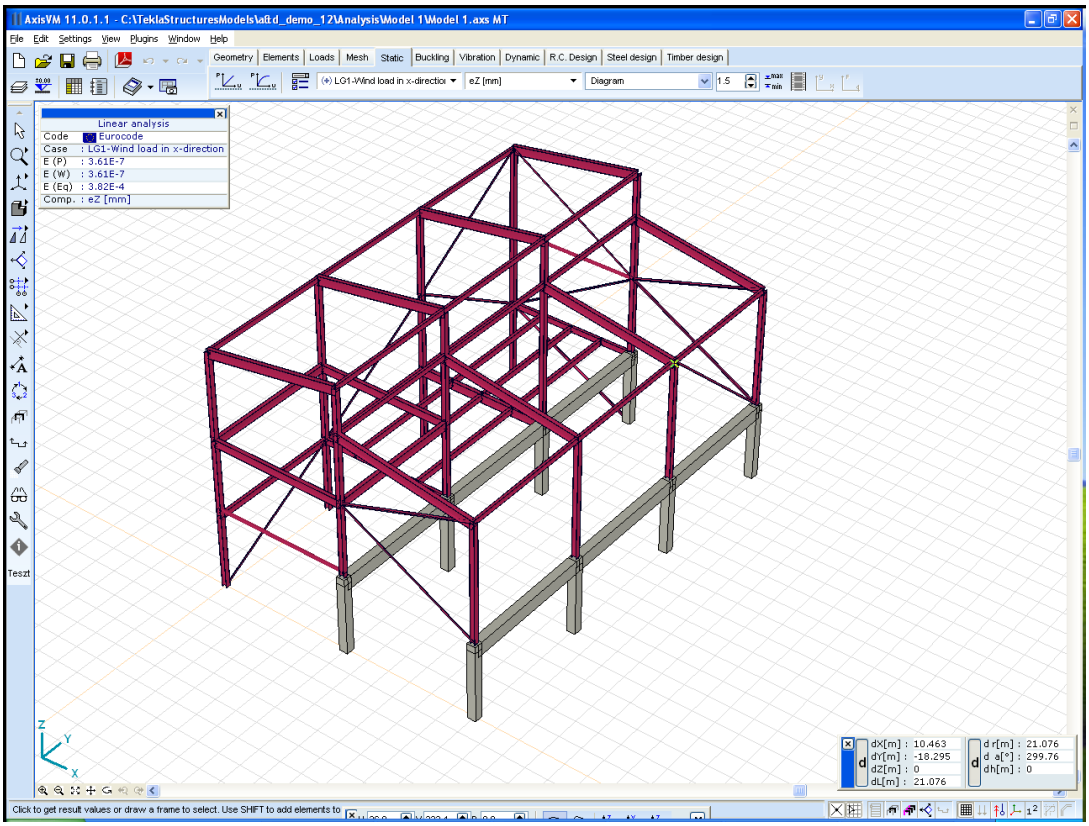


Si AxisVM AD Engine n'apparaît pas dans la liste déroulante, l'enregistrement n'a pas réussi et doit être répété.

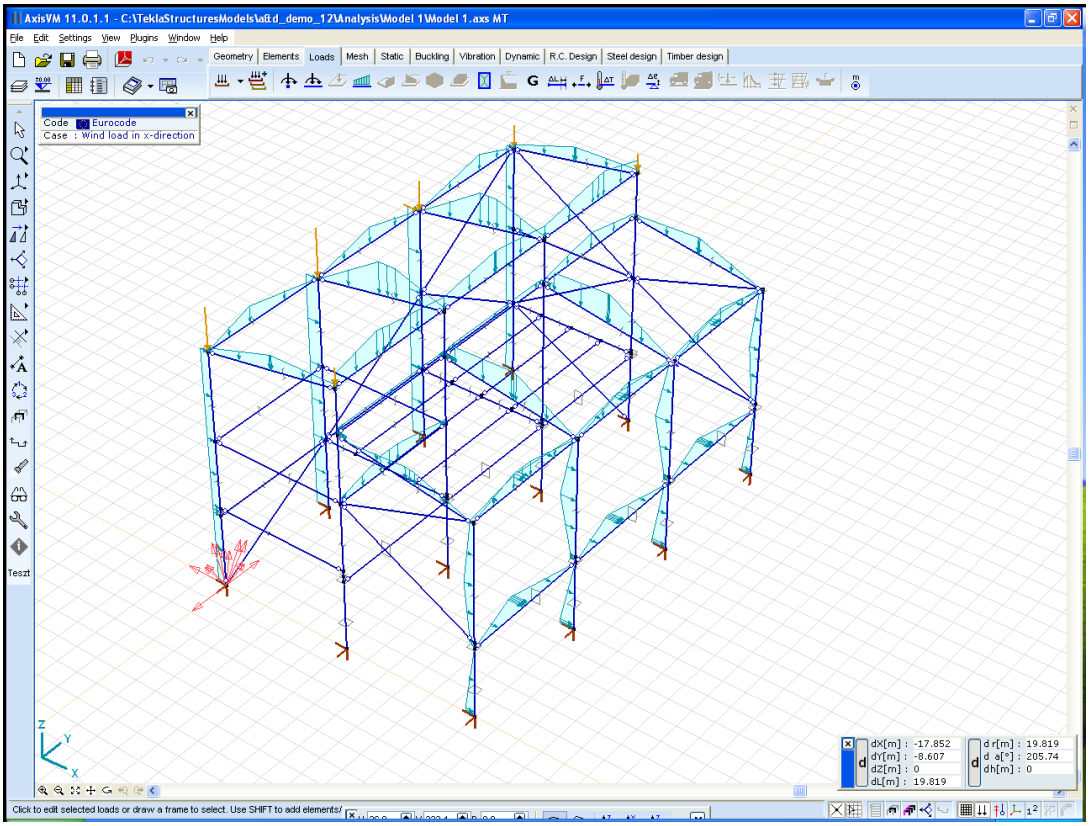
Pour revenir à la boîte de dialogue des *projets d'analyse et d'étude,* cliquez sur Exécuter *pour* lancer le transfert du projet. L'état du processus est affiché dans la boîte de dialogue. Si le transfert est terminé avec succès, cliquez sur le bouton VALIDER pour voir le projet dans AxisVM.



Le projet a été transféré à AxisVM:

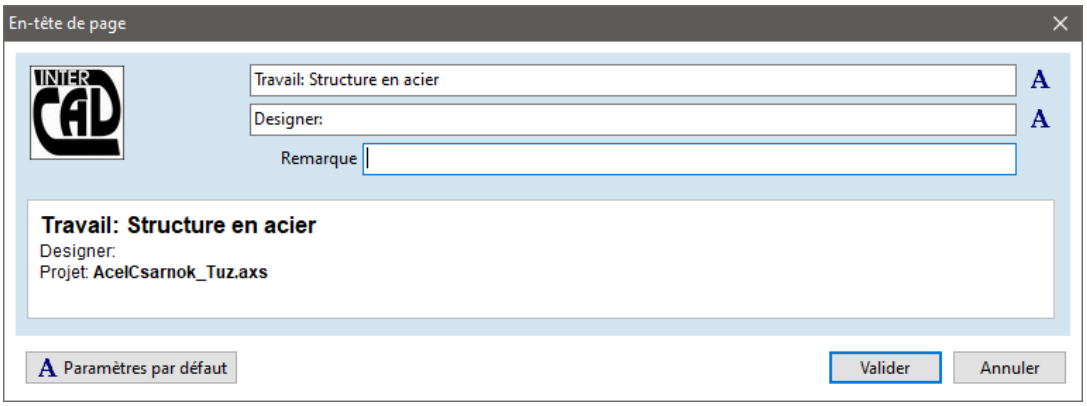


Les charges et les cas de charge spécifiés dans Tekla Structures sont également convertis.



3.1.10. En-tête de page

Permet de spécifier un texte d'en-tête (deux lignes), qui contient le nom du projet et du concepteur. Il apparaîtra en haut de chaque page imprimée. Une ligne de commentaire supplémentaire peut être ajoutée.



Si un logo d'en-tête de page a été sélectionné pour l'impression de dessins, de tableaux et de rapports, le logo apparaît également ici. Cliquez sur le logo pour le modifier ou essayez *Paramètres / Préférences / Rapport / Logo de l'entreprise / Paramètres...*

3.1.11. Paramètres d'impression



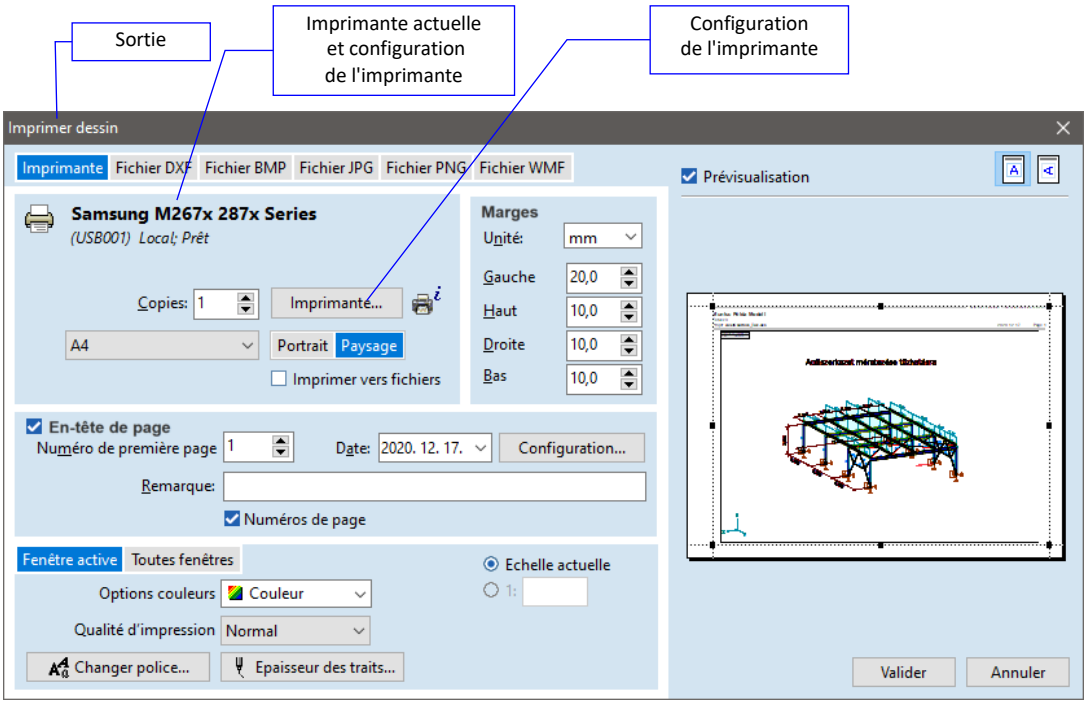
Permet de régler les paramètres de l'imprimante par défaut.
Il s'agit d'un dialogue standard de Windows ; sa langue correspond donc à celle du système d'exploitation installé.

3.1.12. Imprimer


[Ctrl]+ [P]

Cette commande vous permet d'imprimer le projet selon les paramètres d'affichage actuels. Permet la configuration de l'imprimante et de la page.

Imprimer dessin



Onglets

Permet d'envoyer la sortie directement à l'imprimante ou à un fichier graphique (DXF, BMP, JPG, PNG ou Windows Metafile [WMF/EMF]).

Imprimer

Permet de sélectionner et de configurer l'imprimante.

Si l'option *Imprimer vers fichier* est sélectionnée, les données envoyées à l'imprimante seront stockées dans le fichier `Nom.prn`, où `Nom` est un nom de fichier à saisir.

Vous pouvez fixer le nombre de copies requises.

Cliquez sur le nom de l'imprimante ou sur le bouton "Imprimante..." pour appeler la boîte de dialogue standard de configuration de l'imprimante de Windows, dans laquelle vous pouvez modifier en détail les paramètres de l'imprimante et de l'imprimante.

Échelle

Permet de régler l'échelle du dessin à imprimer. En cas de vue en perspective ou de rendu ou si la sortie est envoyée à un métafichier Windows, l'échelle ne peut pas être réglée.

Marges (Imprimante/DXF)

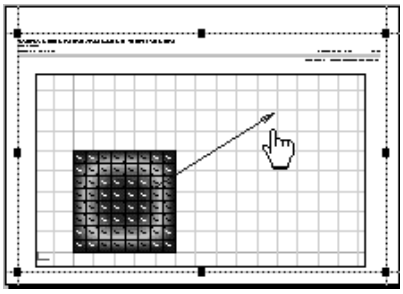
Cette commande vous permet de définir la taille et les unités des marges des pages. Vous pouvez également faire glisser les lignes de marge dans la zone de prévisualisation par leurs poignées de coin et de milieu.

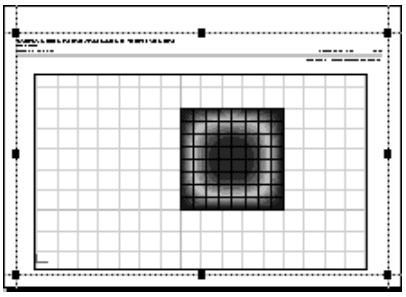
Taille des bitmaps (BMP, JPG)

Cette commande vous permet de définir la taille de la carte en pixels, pouces, mm ou cm et la résolution de la carte en dpi (points par pouce).

Prévisualisation

Cette commande vous permet de visualiser l'image imprimée avant l'impression. Si vous sélectionnez *Imprimante* comme cible, le curseur graphique se transforme en main dès qu'il entre dans la zone de prévisualisation. En appuyant sur le bouton gauche de la souris et en déplaçant la souris, vous pouvez spécifier un panoramique supplémentaire qui n'affectera que la sortie imprimée.





En-tête de page

Cette commande vous permet de fixer la date et la remarque qui figureront sur chaque page, ainsi que le numéro de départ de la numérotation des pages. Si la case à cocher *Numéros de page est* désactivée, un espace vide apparaîtra après la *page,* permettant d'écrire les numéros de page à la main. *Configuration...* affiche la boîte de dialogue En-tête de page (voir... *3.1.10. En-tête de page*) où vous pouvez modifier le logo de la société.

Orientation

Cette commande vous permet de définir l'orientation de la page.

Options couleurs

Cette commande vous permet de choisir l'impression en niveaux de gris, en couleur ou en noir et blanc.

Si votre imprimante ne peut pas imprimer en couleur, vous risquez d'obtenir des résultats différents dans les deux premiers cas.

Si vous sélectionnez Niveaux de *gris,* la sortie sera convertie en niveaux de gris en utilisant une palette interne de niveaux de gris de AxisVM. Si vous sélectionnez *Couleur,* la conversion en niveaux de gris sera effectuée par le pilote d'imprimante Windows. Essayez les deux pour trouver celui qui vous convient le mieux. Lorsque l'impression en noir et blanc est sélectionnée, toutes les entités sont imprimées en noir.

Format du papier

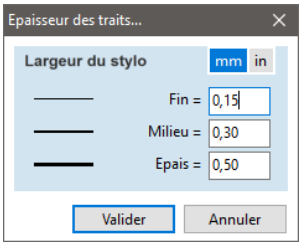
Cette commande vous permet de définir la taille du papier.

Changer police

Cette commande vous permet de sélectionner les polices à utiliser pour l'impression et de définir la taille des caractères.

Epaisseur des traits

Définit la taille des stylos pour l'impression.
Des lignes épaisses sont utilisées pour dessiner des appuis et des éléments rigides. Les lignes moyennes sont utilisées pour les isolignes et les lignes de coupe.
Les lignes minces sont utilisées pour les éléments et la géométrie et autres entités.



Fenêtres à imprimer

Cette commande vous permet d'imprimer soit la *fenêtre active*, soit toutes les fenêtres affichées (*toutes fenêtres*)

Imprimer vers fichier

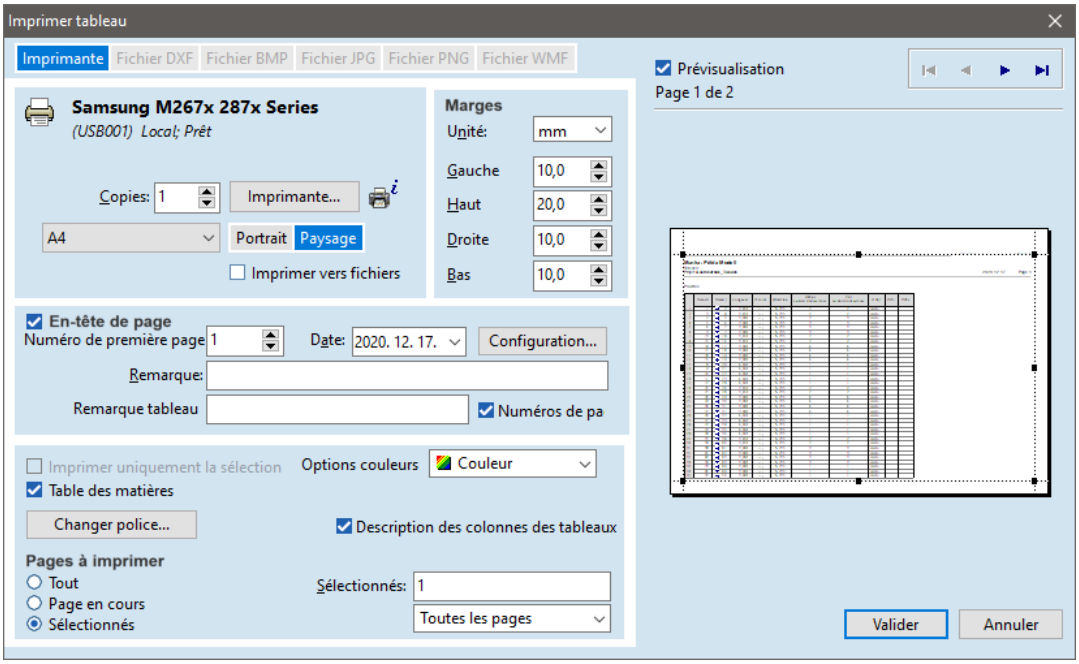
Lorsque l'option *Imprimer vers fichier* est sélectionnée, l'impression est redirigée vers un fichier, nommé `.prn`, que vous pouvez imprimer à tout moment par la suite.

Si le nom de fichier. prn existe déjà, vous pouvez y ajouter votre impression, ou l'écraser.

Pages à imprimer

Lors de l'impression à partir du navigateur de tableaux, vous pouvez définir les pages (toutes / paires / impaires) de toutes les pages / actuelles / sélectionnées, que vous souhaitez imprimer.

Exemple: En saisissant 1, 3, 7-10, 20-18 dans le champ "*Sélectionnées*", la 1ère, 3ème, 7ème, 8ème, 9ème, 10ème, 20ème, 19ème et 18ème page sera imprimée dans cet ordre.



Imprimer seulement les pages sélectionnées

Activé uniquement lors de l'impression d'un rapport. Si cette option est cochée, seuls les éléments de rapport sélectionnés dans « Création de rapport » seront imprimés. Si cette option n'est pas cochée, le rapport entier sera imprimé.

Table des matières

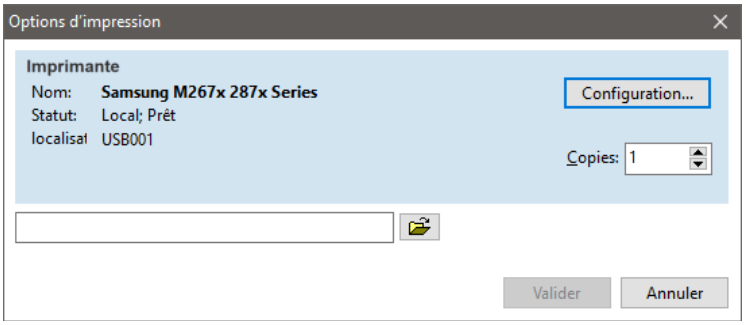
L'impression de la table des matières au début du rapport est facultative.

Description des colonnes du tableau

Si cette option est cochée, un résumé apparaît à la fin de chaque tableau, décrivant la signification des en-têtes de colonne.

3.1.13. Impression à partir du fichier

Vous pouvez imprimer le fichier prn que vous avez créé à partir de la fenêtre suivante.



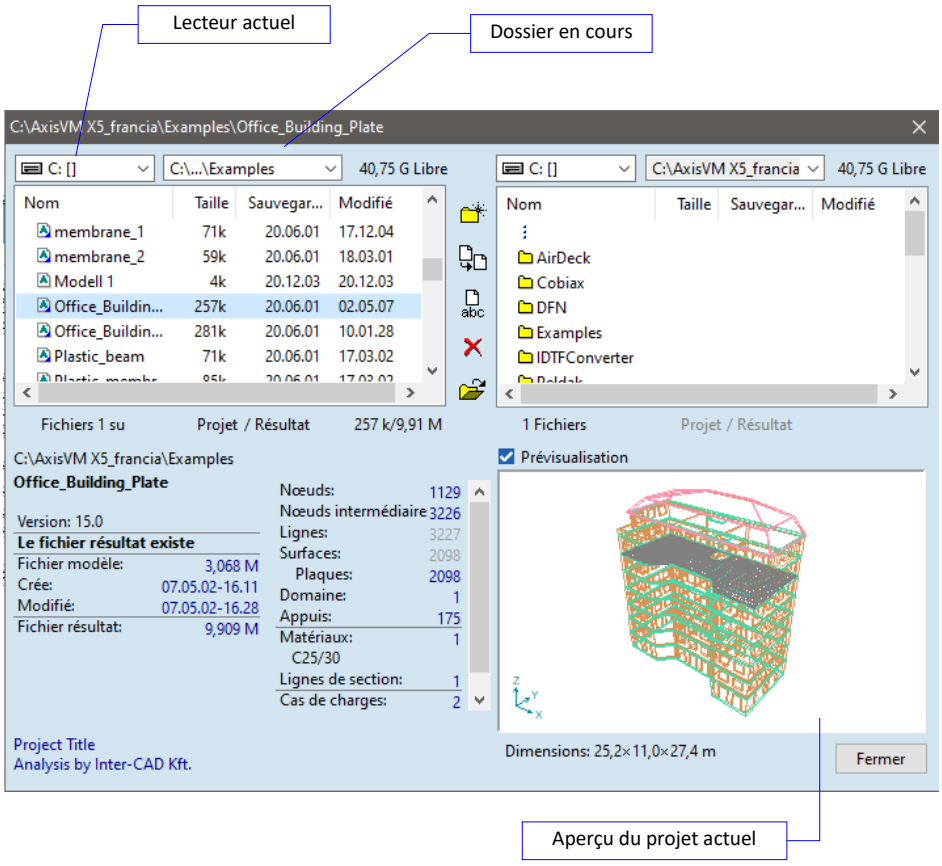
Vous pouvez imprimer plus d'un fichier prn à la fois. Vous pouvez définir l'ordre d'impression à l'aide des flèches haut/bas situées à droite de la liste des fichiers, ou en faisant glisser les noms de fichiers vers une nouvelle position à l'aide de la souris.

3.1.14. Bibliothèque de projets



La commande *Fichier/Bibliothèque* de *projets* Cette commande vous permet de prévisualiser, d'obtenir des informations et de gérer vos fichiers de projets.
Comme dans les fenêtres de dialogue *Ouvrir* et *Enregistrer sous, les* éléments standard de la boîte de dialogue d'accès aux fichiers sont affichés, mais dans la zone de liste, vous pouvez sélectionner plusieurs fichiers.

Les fichiers projets AxisVM sont marqués du symbole . Si un projet a un fichier de résultats, le symbole a un coin bleu en bas à droite, .



Nouveau
Crée un nouveau sous-dossier dans le dossier courant avec le nom que vous entrez.

Copier/déplacer
Copie les fichiers sélectionnés dans un autre dossier. Vous pouvez spécifier si vous voulez copier les fichiers de résultats ou non. Vous pouvez les déplace dans un autre dossier.

Renommer
Renomme les fichiers sélectionnés dans les dossiers actuels ou les déplace dans un autre dossier.

Supprimer
Supprime les fichiers sélectionnés des dossiers en cours. Vous pouvez spécifier de supprimer uniquement les fichiers de résultats ou tous les fichiers.

Ouvrir
Ouvre le fichier sélectionné pour l'édition.

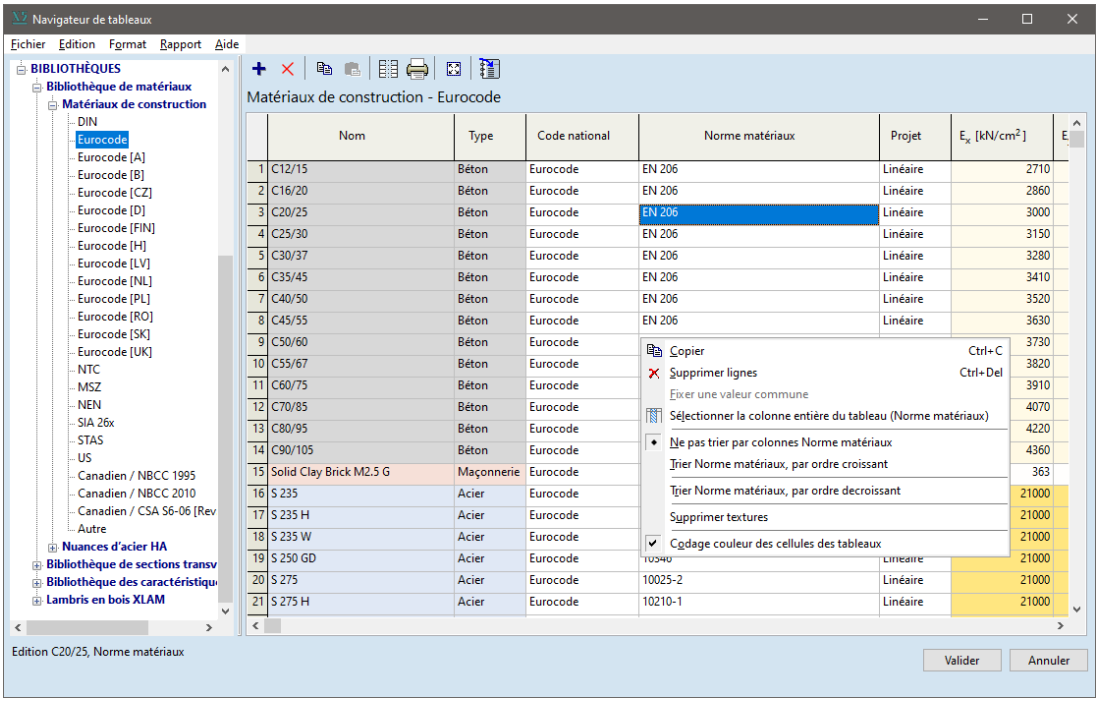
Les fichiers AxisVM sont marqués avec . Si un fichier de résultat est disponible, le coin inférieur droit de l'icône est bleu.

Prévisualisation
Affiche le projet filaire en vue de face, de côté, de dessus ou en perspective selon les dimensions du projet. Les informations sur le projet sont également affichées dans une liste.

Fermer
Quitte la bibliothèque de projets.

3.1.15. Bibliothèque de matériaux

AxisVM fournit une bibliothèque de matériaux préchargés (qui contient les matériaux structuraux les plus fréquemment utilisés) et Cette commande vous permet de créer des ensembles de propriétés des matériaux que vous pouvez utiliser à maintes reprises dans de nombreux projets différents. Vous devez attribuer des noms différents à chaque ensemble de propriétés de matériaux.



La fenêtre de la bibliothèque de matériaux peut également être ouverte à l'aide de l'icône du navigateur de tableaux et en sélectionnant Bibliothèques/Bibliothèque de matériaux. Voir... *4.9.9 Éléments linéaires, 4.9.23. Création d'une ossature projet à partir d'un projet architectural*
Voir la description détaillée du Navigateur de Tableau au point *2.9. Navigateur de tableau*.

Propriétés des matériaux

Ce tableau contient les propriétés des matériaux souvent utilisés dans le génie civil selon les codes MSz, Eurocode, DIN-1045, DIN-1045-1, NEN, SIA-162, a STAS et italien. Vous pouvez ajouter, modifier ou supprimer des données de matériaux existantes. En cas de saisie d'un nouveau matériau avec un nom existant, il sera ajouté comme **numéro_nom_matériau**. Ces matériaux peuvent être utilisés dans n'importe quel projet.

☞ **Les changements dans la bibliothèque de matériaux ne se reflètent pas dans les projets utilisant le matériau modifié.**

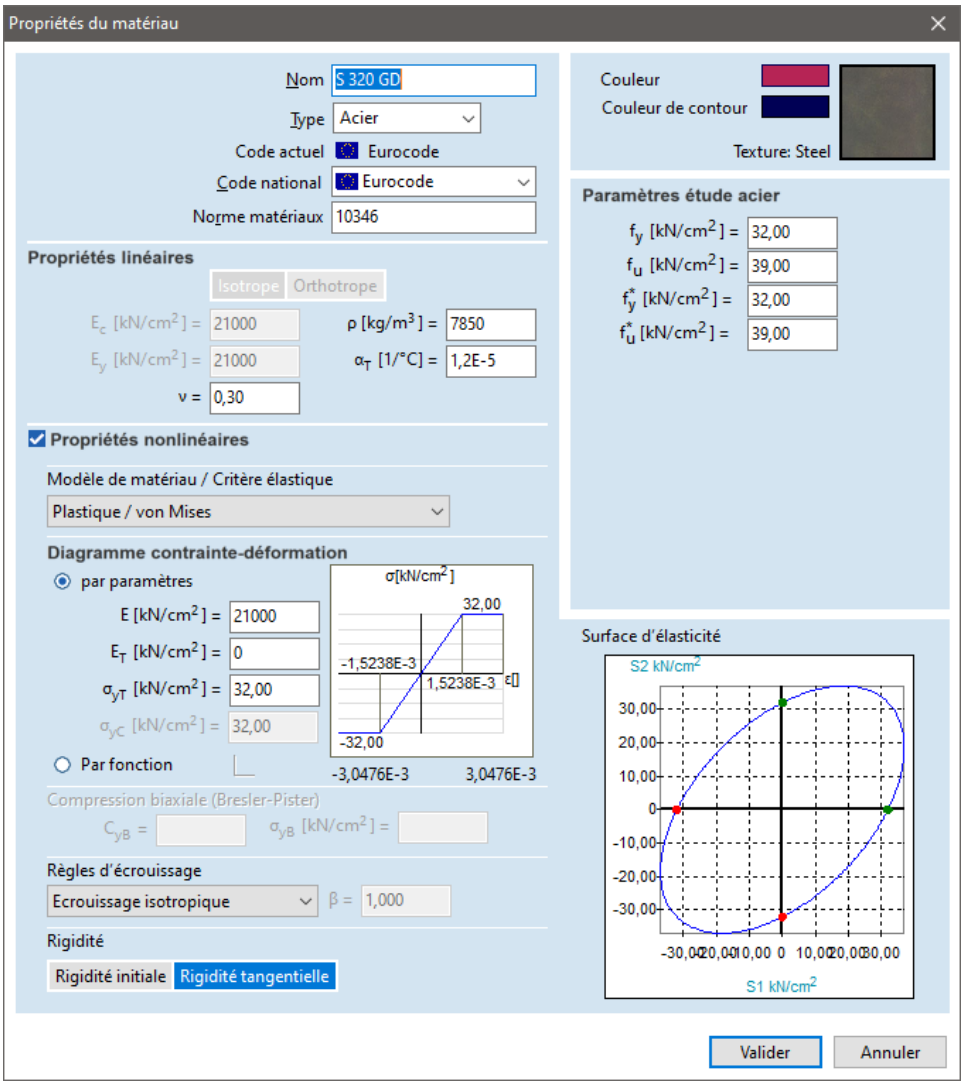
Lors de la saisie d'un nouveau matériau la boîte de dialogue suivante s'affiche :

Définir le nouveau matériau

[Ctrl+Ins]

Modifier les propriétés des matériaux

En définissant un nouveau matériau ou en cliquant sur une colonne non modifiable (par exemple, code d'étude national, type), une boîte de dialogue apparaît, dans laquelle toutes les propriétés du matériau, les calculs et les paramètres d'étude peuvent être définis ou modifiés. Les champs contenant les propriétés de base indépendantes du code d'étude peuvent être édités dans le tableau.
Lorsqu'un document dont le nom est identique à un document existant est saisi, un index est joint au nom (*nom_index*) pour le différencier de l'existant.
Si aucune texture n'a été assignée au matériau, cliquez sur le rectangle échantillon pour en sélectionner une dans la bibliothèque. Voir... *2.16.4. Modes d'affichage*



Propriétés des matériaux

Pour chaque matériau, les propriétés suivantes sont stockées:

Type de matériau: [Acier, béton, bois, aluminium, maçonnerie, autres]
Code d'étude, code des matériaux
Nom du matériau
Remplissage couleur à l'écran
Couleur de la ligne de contour à l'écran,
Texture

Propriétés linéaires

Le matériau projeté peut être isotrope ou orthotrope.

E_x	[kN/cm2]	Module d'élasticité de Young dans la direction *x* locale
E_y	[kN/cm2]	Module d'élasticité de Young dans la direction *y* locale
ν	-	Coefficient de Poisson
α_T	[1/°C]	Coefficient de dilatation thermique
ρ	[kg/m3]	Densité massique

Calcul d'autres propriétés des matériaux

$$E_z = \max\{E_x, E_y\}; \quad \nu_{ij} = \begin{cases} \nu & \text{if } E_i \geq E_j \\ \nu \frac{E_i}{E_j} & \text{if } E_i < E_j \end{cases}; \quad G_{ij} = \frac{E_i E_j}{E_i + E_j + 2\nu_{ij} E_j}$$

où $ij = \{xy, xz, yz\}$

Dans le cas des matériaux en bois :

ρ est la densité de la masse sèche de l'air (12 % d'humidité) et, le module d'élasticité *E est* basé sur les résultats des essais de flexion. L'effet du temps (relaxation) n'est pas pris en compte.

Propriétés non linéaires

Le projet de matériau utilisé dans le logiciel n'est valable qu'en cas de petites déformations

Modèle de matériau / critère de rendement	*Type de matériau*		
	Acier	*Béton, maçonnerie*	*Autres*
NL élastique / à base d'énergie de déformation	✓	—	✓
Plastique / von Mises	✓	—	✓
Plastique / Bresler-Pister	—	✓	✓

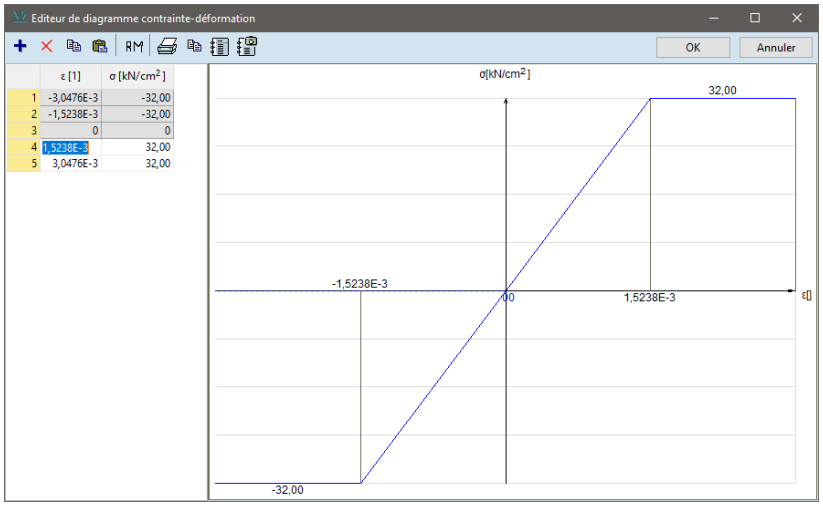
Diagramme contrainte-déformation

Par paramètres

E [kN/cm2]	Module d'élasticité de Young pour l'analyse non linéaire (augmentation de la section transversale initiale du diagramme)**σ-ε**
E_T [kN/cm2]	Module d'élasticité de Young pour l'analyse non linéaire (augmentation de la section transversale tangentielle du diagramme)**σ-ε**
σ_{yT} [kN/cm2]	Limite d'élasticité à la traction
σ_{yC} [kN/cm2]	Limite d'élasticité à la compression

Par fonction

Éditeur de diagrammes de contrainte/déformation



La plupart des fonctions de la barre d'outils sont les mêmes que dans l'éditeur de diagramme de temps / évènement . Voir... *4.10.30. Charges dynamiques (pour l'analyse temps / événement) - module DYN*



Fonction symétrique

Si cette option est activée, la définition de la partie positive de la fonction définit également la partie négative.

Compression biaxiale

σ_{yB} [kN/cm2] Limite d'élasticité en compression biaxiale. $\sigma_{yB} = C_{yB} \cdot \sigma_{yC}$

C_{yB} [] Facteur de compression biaxiale

Restrictions sur les paramètres

Modèle de matériau / critère de rendement	E_T	σ_{yC}	C_{yB}	*σ-ε schéma*
NL élastique / à base d'énergie de déformation	$E_T \geq 0$	$\sigma_{yC} \geq 0$	N.D.	arbitraire
Plastique / von Mises	$E_T \geq 0$	$\sigma_{yC} = \sigma_{yT}$	N.D.	symétrique
Plastique / Bresler-Pister	$E_T = 0$	$\sigma_{yC} \geq \sigma_{yT}$	$1 \leq C_{yB} \leq 1.2$	N.D.

N.D. - non disponible

☞ **Le diagramme σ-ε doit être au moins bilinéaire tant du côté de la traction que de la compression. La fonction doit être monotone croissante, et sa pente doit être monotone décroissante.**

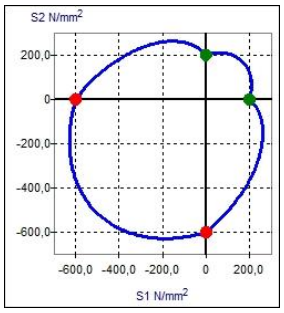
Surface d'élasticité

Le diagramme montre la coupe de la surface d'élasticité par le plan des contraintes principales S1-S2. Cette courbe limite appartient à l'état de contrainte plane.

NL élastique / à base d'énergie de déformation

Ce modèle de matériau a un comportement élastique non linéaire. Cela signifie que le point représentant l'état du matériau se déplace le long de la courbe σ-ε lorsque la charge augmente ou diminue. Pas de déformation irréversible.

Le comportement asymétrique des contraintes et des déformations est disponible.



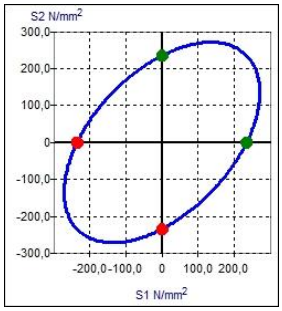
$\sigma_{yT} = 200\ MPa$, $\sigma_{yC} = 600\ MPa$

Comportement plastique

Une charge croissante déplace le point représentant l'état du matériau le long de la courbe σ-ε, une charge décroissante le déplace parallèlement à la section transversale initiale de la courbe.

Plastique / von Mises

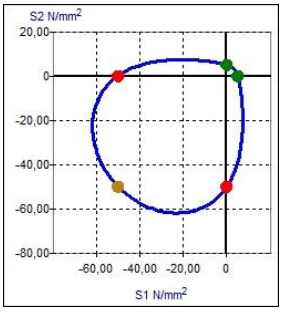
Ce modèle de matériau est recommandé pour les matériaux en acier. Seul le comportement symétrique contrainte-déformation est disponible pour ce projet de matériau. [35] *https://en.wikipedia.org/wiki/Von_Mises_yield_criterion*



$\sigma_{yT} = 200\ MPa$, $\sigma_{yC} = 200\ MPa$

Plastique / Bresler-Pister

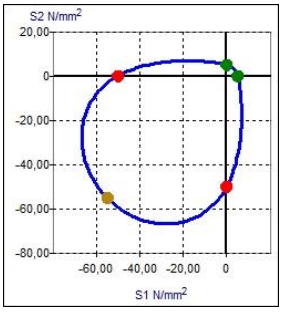
Ce modèle de matériau est recommandé pour les matériaux en béton et en maçonnerie, car il peut modéliser simultanément la faible limite d'élasticité pour la tension et la haute limite d'élasticité pour la compression uniaxiale et biaxiale. [36] *https://en.wikipedia.org/wiki/Bresler_Pister_yield_criterion*



$\sigma_{yT} = 5\ MPa$, $\sigma_{yC} = 50\ MPa$

$C_{yB} = 1.0$

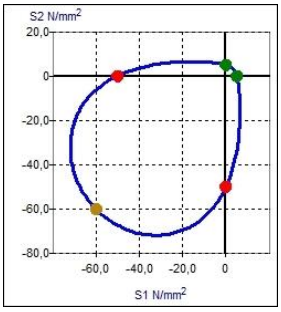
$\sigma_{yB} = C_{yB} \cdot \sigma_{yC} = 50$ MPa



$\sigma_{yT} = 5\ MPa$, $\sigma_{yC} = 50\ MPa$

$C_{yB} = 1.1$

$\sigma_{yB} = C_{yB} \cdot \sigma_{yC} = 55$ MPa



$\sigma_{yT} = 5\ MPa$, $\sigma_{yC} = 50\ MPa$

$C_{yB} = 1.2$

$\sigma_{yB} = C_{yB} \cdot \sigma_{yC} = 60$ MPa

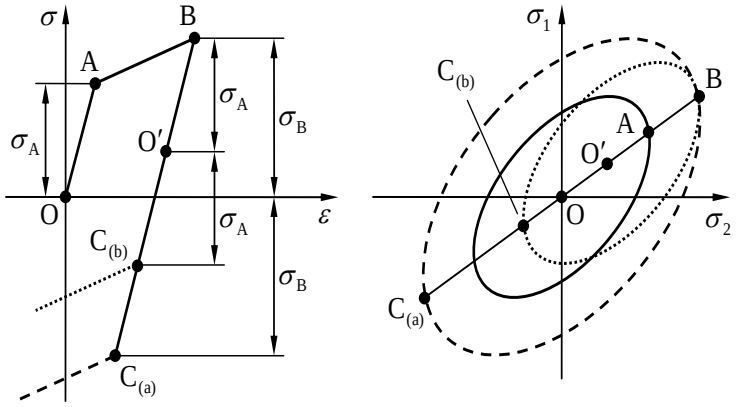
Rigidité

Rigidité initiale — La matrice de rigidité initiale matériellement linéaire est utilisée pour l'évaluation de la matrice de rigidité globale. Le calcul est plus lent (plus d'itérations sont nécessaires) mais la convergence est plus stable.

Rigidité tangentielle — La matrice de rigidité tangente matériellement non linéaire est utilisée pour l'évaluation de la matrice de rigidité globale. Le calcul est plus rapide (moins d'itérations sont nécessaires) mais si les incréments ne sont pas assez petits, des problèmes de convergence peuvent survenir.

Ecrouissage des contraintes

L'écrouissage de la contrainte pourrait être:
(a) Isotropique : $\beta = 1$ (b) Cinématique : $\beta = 0$



En cas d'écrouissage cinématique, la taille de la surface élastique ne change pas, mais son centre se déplace de l'origine de l'espace de contrainte au O′ de l'emplacement. Dans un tel cas, les contraintes relatives $\sigma_{r,i} = \sigma_i - \sigma_{O',i}$ par rapport à l'origine actuelle sont substitués dans l'équation de la contrainte efficace calculée sur la base du critère de rendement. Voir... *6.1.21. Contrainte dans les fermes, les poutres et les nervures* et *6.1.22. Contraintes des éléments surfaciques*. En cas d'écrouissage isotrope $\sigma_{O',i} = 0$ et $\sigma_{r,i} = \sigma_i$.

Paramètres d'étude

Les paramètres d'étude dépendent du type de matériau et du code d'étude.

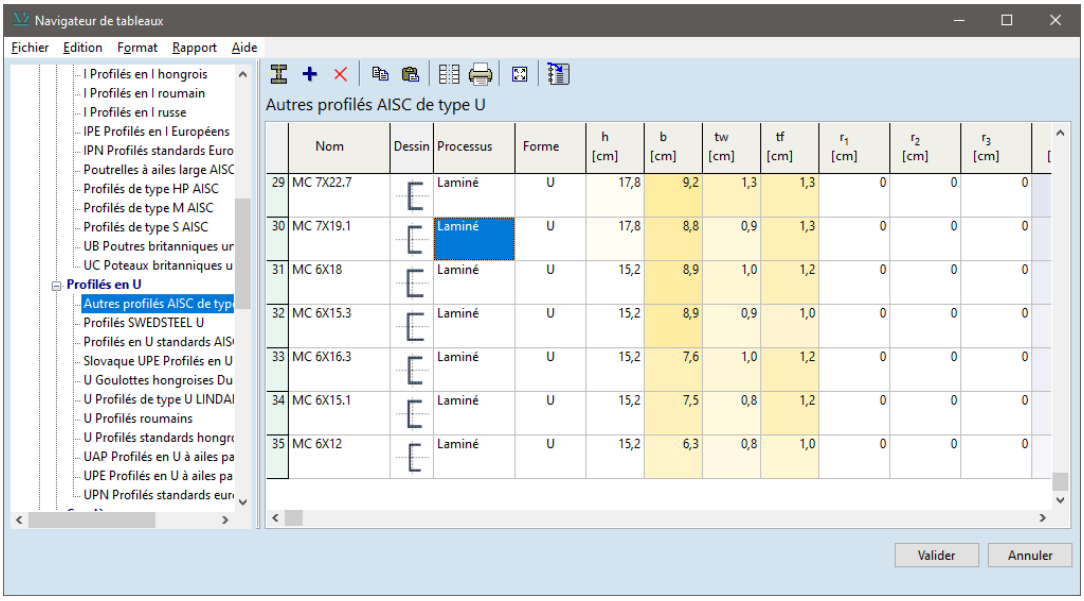
Acier	CE, DIN 1045-1, SIA 26x, Italien	f_y	Limite d'élasticité
		f_u	Limite de rupture
		f_y*.	Limite d'élasticité 40mm < t < 100mm)
		f_{u*}	Limite de rupture (40mm < t < 100mm)
	NEN	f_{yd}	Limite d'élasticité
		f_{yt}	Limite de rupture
		f_{yd}*	Limite d'élasticité 40mm < t < 100mm)
		f_{yt}*.	Limite d'élasticité 40mm < t < 100mm)
Concret	CE, Italien	f_{ck}	Résistance caractéristique du cylindre de compression à 28 jours
		γ_c	Coefficient de sécurité
		α_{cc}	Facteur de réduction de la résistance du béton pour une charge soutenue
		Φ_t	Coefficient de fluage
	DIN 1045-1	f_{ck}	Résistance caractéristique du cylindre de compression à 28 jours
		$f_{ck,\ cube}$	Résistance caractéristique du cylindre de compression du cube
		γ_c	Coefficient de sécurité
		α	Facteur de réduction de la résistance du béton pour une charge soutenue
		Φ_t	Coefficient de fluage
	SIA 26x	f_{ck}	Résistance caractéristique du cylindre de compression à 28 jours
		γ_c	Coefficient de sécurité
		Φ_t	Facteur d'élasticité
	NEN	f_{ck}".	Résistance caractéristique du cylindre de compression à 28 jours
		Φ	Coefficient de fluage

Bois	CE	$f_{m,k}$	Résistance à la flexion caractéristique
		$f_{t,0,k}$	Résistance caractéristique à la traction parallèle aux fibres
		$f_{t,90,k}$	Résistance caractéristique à la traction perpendiculaire aux fibres
		$f_{c,0,k}$	Résistance caractéristique à la compression parallèle aux fibres
		$f_{c,90,k,y}$	Résistance caractéristique à la compression perpendiculaire aux fibres *(y)* (pour le bois massif et le bois lamellé-collé $f_{c,90,k,y} = f_{c,90,k,z} = f_{c,90,k}$)
		$f_{c,90,k,z}$	Résistance caractéristique à la compression perpendiculaire aux fibres *(z)* (pour le bois massif et le bois lamellé-collé $f_{c,90,k,y} = f_{c,90,k,z} = f_{c,90,k}$)
		$f_{v,k,y}$	Résistance caractéristique au cisaillement *(y)* (pour le bois massif et le bois lamellé-collé $f_{v,k,y} = f_{v,k,z} = f_{v,k}$)
		$f_{v,k,z}$	Résistance caractéristique au cisaillement *(z)* (pour le bois massif et le bois lamellé-collé $f_{v,k,y} = f_{v,k,z} = f_{v,k}$)
		$E_{0,moyen}$	Module d'élasticité de Young moyen parallèle aux fibres *(x)*
		$E_{90,\ moyen}$	Module d'élasticité de Young moyen perpendiculaire aux fibres *(y)*
		$E_{\ 0.05}$	5% de module d'élasticité parallèle aux fibres *(x)*
		G_{moyen}	Module de cisaillement moyen
		ρ_k	Densité caractéristique
		P_{moyen}	Densité moyenne
		γ_M	Coefficient de sécurité de la matière
		s	Exposant de l'effet de taille (pour les matériaux LVL)
Maçonnerie	CE	f_b	Résistance à la compression normalisée des éléments de maçonnerie
		f_k	Résistance à la compression caractéristique de la maçonnerie
		f_{vk0}	Résistance au cisaillement caractéristique initiale
		f_{xk1}	Résistance à la flexion caractéristique de la maçonnerie en flexion autour d'un axe parallèle aux jonctions du lit
		f_{xk2}	Résistance à la flexion caractéristique de la maçonnerie en flexion autour d'un axe perpendiculaire aux jonctions du lit

3.1.16. Bibliothèque de sections transversales



AxisVM fournit des bibliothèques de sections transversales préchargées, qui contiennent les formes en acier et les sections transversales en béton les plus fréquemment utilisées, et Cette commande vous permettent de créer des ensembles de propriétés de sections transversales standard que vous pouvez utiliser à maintes reprises dans de nombreux projets différents. Les bibliothèques comprennent des produits de fabricants du monde entier.
Pour la description du Navigateur de Tableau, Voir... *2.9. Navigateur de tableau*



☞ **La fonction d'annulation ne fonctionne pas lorsque les bibliothèques sont modifiées.**

Créer une nouvelle bibliothèque

Vous pouvez créer une bibliothèque de sections transversales personnalisée par la commande *Fichier / Nouveau tableau de sections transversales* dans le navigateur de tableaux. Vous devez spécifier un nom de bibliothèque, un nom de fichier de bibliothèque et un type de section transversale pour catégoriser la bibliothèque dans le navigateur de tableaux. Une *région géographique* et un *fabricant* peuvent également être saisis. Ces champs peuvent être utilisés pour filtrer les sections transversales lors de l'importation depuis la bibliothèque. Voir...*4.9.2.1. Bibliothèques de sections transversales*

Les fichiers de bibliothèque standard et personnalisés (*.sec) sont stockés dans le dossier où la demande est enregistrée.

Attribuez un nom à chaque section transversale, et spécifiez les propriétés suivantes:

Nom
Processus *Laminé, soudé, formé à froid, autre.*
Forme *I (H, W), U, L, Tube, Rond, Rectangulaire, C, Z, S, J, T, Boite, Personnalisé*

Propriétés de la section transversale

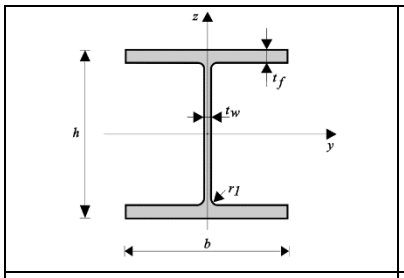
Lors de la création d'une nouvelle section transversale dans le tableau, toutes les valeurs de propriété doivent être saisies.

h	Dimension dans la direction locale ***z*** (hauteur)
b	Dimension dans le sens ***y*** local (largeur)
tw	Épaisseur de l'âme
tf	Épaisseur de la semelle
Ax	Surface axiale (transversale)
Ay	Zone de cisaillement
Az	Zone de cisaillement
Ix	Inertie de torsion
Iy	Inertie de flexion autour de l'axe ***y*** local
Iz	Inertie de flexion autour de l'axe ***z*** local
Iyz	Inertie centrifuge (moment d'inertie du produit de la surface)
I_1, I_2	Inertie principale sur le 1er / 2ème axe local
Iω	Module de déformation (utilisé pour l'étude des profilés en acier)
$W_{1, el,t}$	Module de section transversale élastique, en haut = I_1 / *e2_max* (voir diagramme ci-dessous)
$W_{1, el,b}$	Module de section transversale élastique, en bas = I_1 / *e2_min*
$W_{2,el,t}$	Module d'élasticité en coupe transversale, en haut = I_2 / *e1_max*
$W_{2,el,b}$	Module élastique en coupe transversale, en bas = I_2 / *e1_min*
$W_{1,pl}$	Module de la section transversale plastique
$W_{2,pl}$	Module de la section transversale plastique
i_y, i_z	Rayon d'inertie autour du 1er / 2ème axe local

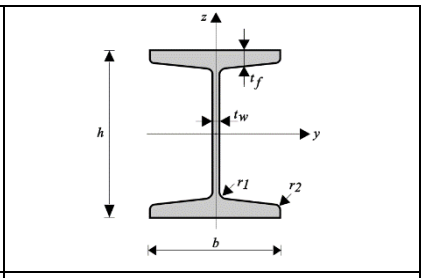
Hy, Hz	Dimensions de la boîte englobante dans les directions locales ***y*** et ***z***
y_G, z_G	Position du centre de gravité de la section transversale dans la direction locale ***y, z par rapport au*** coin inférieur gauche du rectangle circonscrit
ys,zs	Position du centre de cisaillement dans les directions locales ***y*** et ***z par rapport au*** centre de gravité
r_1, r_2, r_3	Rayons d'arrondi (coin et filet)
S. p.	Points de calcul du contrainte

Section transversale de l'acier

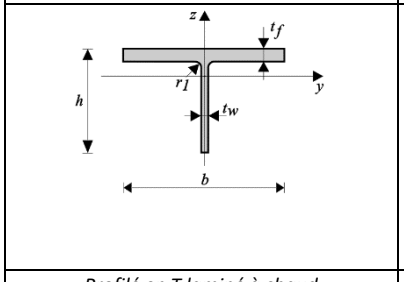
La bibliothèque des sections transversales contient différents types de sections transversales:



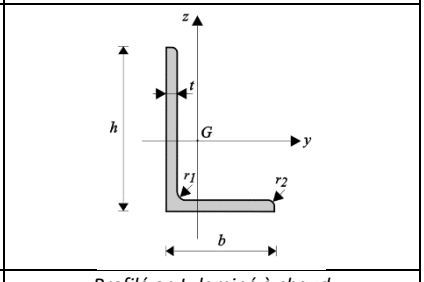
Profilé en I à ailes parallèles laminé à chaud



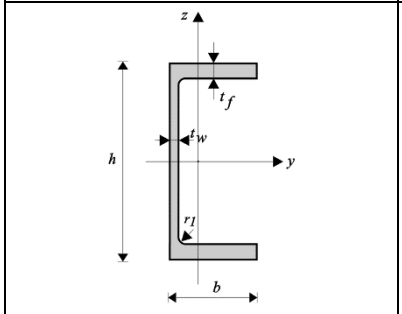
Profilé en I à ailes arrondies laminé à chaud



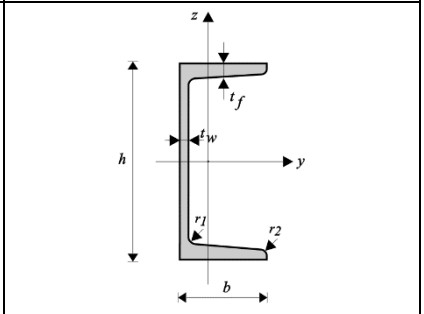
Profilé en T laminé à chaud



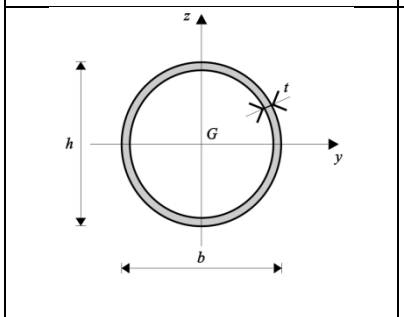
Profilé en L laminé à chaud



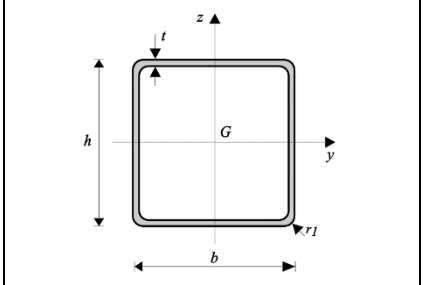
Profilé en U laminé à chaud



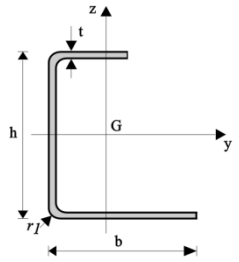
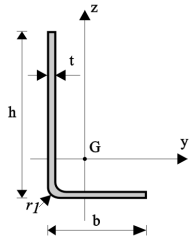
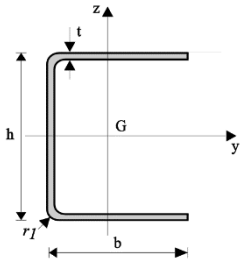
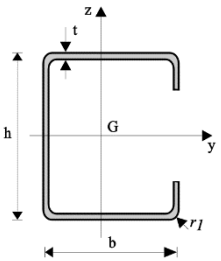
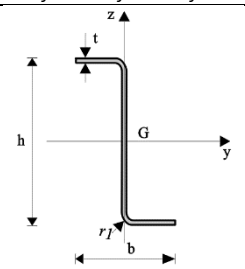
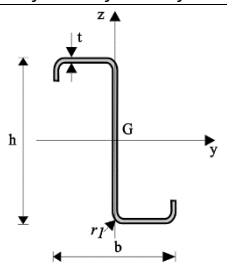
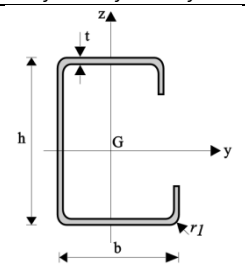
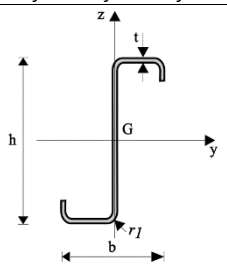
Profilé en U à ailes arrondies laminé à chaud



Tube à section transversale circulaire formé à froid

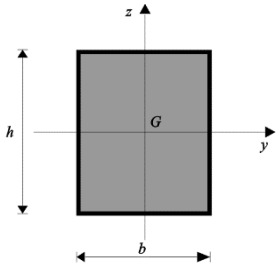


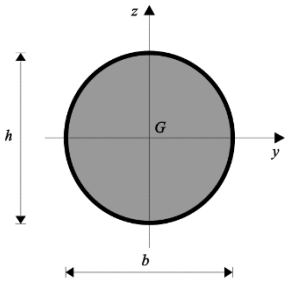
Tube à section transversale rectangulaire formé à froid et laminé à chaud (RHS)

	
Profilé en J formé à froid	*Profilé en L formé à froid*
	
Profilé en U formé à froid	*Profilé en C formé à froid*
	
Profilé en Z formé à froid	*Profilé en S formé à froid*
	
Profilé en C formé à froid (LINDAB)	*Profilé en S formé à froid (LINDAB)*

Sections transversales du béton

Les sections transversales de béton sont énumérées à partir de la taille 20x20 jusqu'à la taille 80x80 cm par pas de 2 et 5 cm.





3.1.16.1. Editeur de Section transversale



L'éditeur de section transversale Cette commande vous permet de modifier des sections transversales à parois minces (métal)/épaisses (béton) ou de créer certaines sections transversales composites paramétriques de deux ou trois matériaux différents.
Vous pouvez utiliser des formes paramétriques circulaires, rectangulaires, annulaires et polygonales, ou toute forme répertoriée dans les bibliothèques de sections transversales pour construire des sections transversales complexes. Les formes utilisées pour construire une nouvelle section transversale métal ou béton sont appelées des composants et doivent être du même matériau.
Vous pouvez translater, faire pivoter, mettre en miroir, copier ou déplacer les éléments sélectionnés à tout moment pendant le montage. Lorsqu'un composant est placé à son emplacement graphiquement, les axes principaux et les propriétés de la section transversale composite sont calculés.
Vous pouvez utiliser les commandes du clavier de la même manière que dans les fenêtres d'édition principales.

Le bouton **VALIDER** permet de quitter et de fermer la fenêtre de l'éditeur de sections transversales, et d'enregistrer votre section transversale actuelle dans le tableau des sections transversales de votre projet avec un nom que vous spécifiez.

L'éditeur de sections transversales se trouve sur la barre d'outils de la bibliothèque de sections transversales et peut également être lancé à partir de la boîte de dialogue des éléments linéaires. Voir... *4.9.9 Éléments linéaires.*
L'éditeur peut être utilisé pour créer un projet natif à partir d'un projet architectural par l'intermédiaire de l'interface IFC. Voir... *4.9.23. Création d'une ossature projet à partir d'un projet architectural*

Clés d'édition

Voir... *2.5. Utilisation du curseur, du clavier, de la souris*

Barre d'outils

Les fonctions les plus importantes sont disponibles à partir de la barre d'outils.



Imprime la coupe transversale. Voir... *3.1.12. Imprimer*



Ajoute l'image de la coupe transversale aux archives.
Voir... *3.2.12. Sauvegarder dans la bibliothèque des dessins*



Défait la dernière opération.



Refait l'opération qui a été défaite



Copie l'image de la coupe transversale dans le presse-papiers.

Depuis bibliothèque transversale



Charge une section transversale de la bibliothèque des sections transversales. Seules les sections transversales métal ou béton sont disponibles selon la position de l'onglet de l'éditeur de sections transversales.

A partir du fichier DXF



Le contour des sections transversales béton peut également être importé à partir d'un fichier DXF.

Points de contrainte



Vous pouvez spécifier les points pour lesquels vous souhaitez calculer les contraintes. Le point de contrainte par défaut est le centre de gravité. Vous pouvez spécifier jusqu'à 9 points de contrainte pour chaque section transversale.
En appliquant une commande de déplacement, les points de contrainte peuvent également être déplacés.
Dans le cas des sections transversales métal le flux de cisaillement est calculé uniquement le long des lignes centrales. Les points projetés, à partir desquels les valeurs des contraintes de cisaillement sont attribuées aux points de contrainte, sont également affichés. Si un point de contrainte est situé dans un coin ou à la jonction de plusieurs segments d'axe, la valeur la plus élevée est prise en compte.

☞ **Les calculs de contrainte sont effectués uniquement aux points de contrainte spécifiés. Si vous ne spécifiez aucun point de contrainte, la contrainte sera calculée uniquement au niveau du centre de gravité. Cela signifie qu'aucune contrainte de flexion n'apparaîtra.**

Barre d'icônes

Les fonctions et les paramètres de l'éditeur se trouvent dans la barre d'icônes à gauche. Le comportement de la barre d'icônes est le même que celui de la barre d'icônes principale. Voir... *3.1.12 Imprimer*

La seule différence est que cette barre d'icônes peut être déplacée au-dessus des menus en haut ou en bas mais elle n'est pas ancrable.



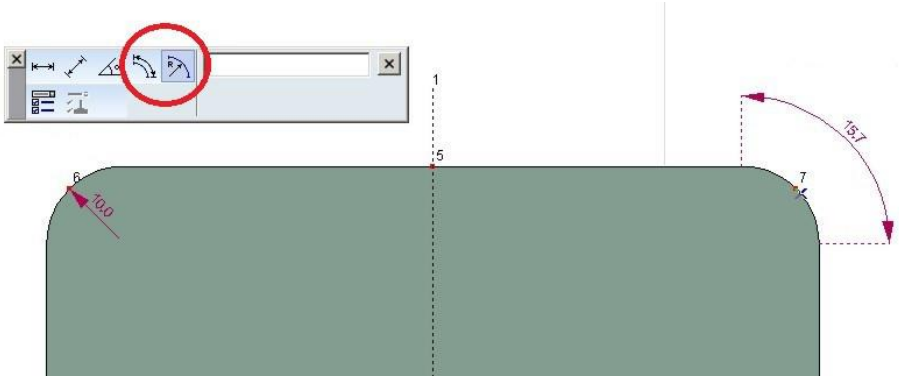
Transformations géométriques





Toutes les transformations géométriques standard (déplacement, rotation, miroir, mise à l'échelle) peuvent être utilisées. Toutes les opérations sont effectuées dans le plan y-z de l'éditeur de section transversale.

Étude



Les outils d'étude peuvent être sélectionnés dans la barre d'outils supérieure de la palette. Il s'agit des lignes de cotation orthogonales et alignées, des dimensions d'angle, de rayon et de longueur d'arc.
La barre d'outils inférieure contient les boutons permettant de régler avec précision les propriétés des cotations et de choisir l'option de cotation intelligente qui place plusieurs cotations entre le point de départ et le point d'arrivée.

Étude

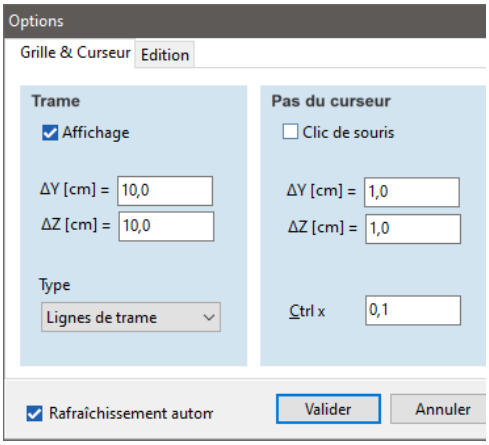




Sélectionnez le type de cotation de la section transversale (orthogonale, alignée, angle) dans la barre d'outils supérieure.

La barre d'outils inférieure contient les boutons permettant de régler finement les propriétés des lignes de côtes et de choisir l'option linéaire de côte intelligente.





La boîte de dialogue Options permet de modifier les angles de contrainte et la tolérance d'édition.

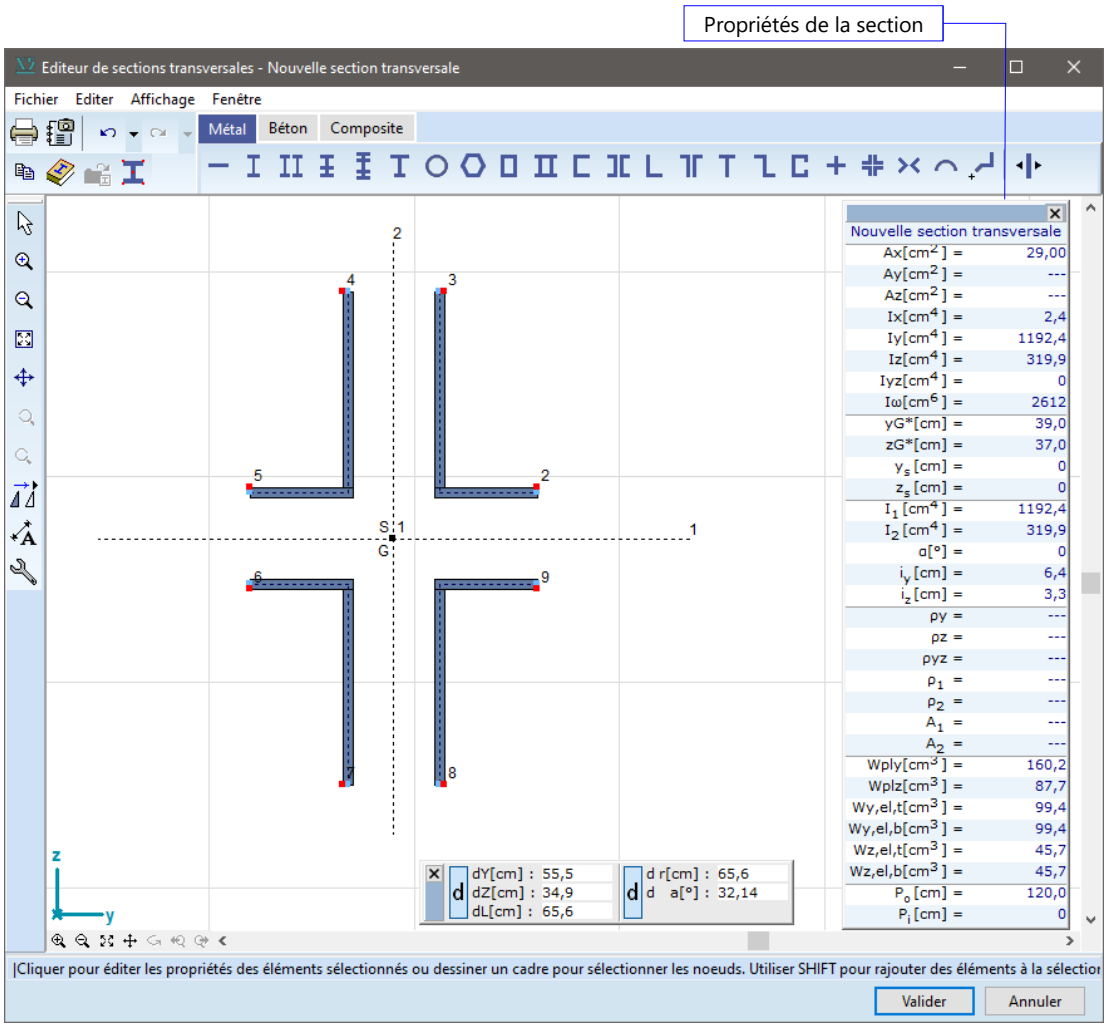
Vérification de collision fait passer le contour temporaire de la forme au rouge si elle touche ou chevauche une autre forme dans sa position actuelle.

Nouveau calcul recalcule les paramètres de la section transversale chaque fois que la forme change.

Définition d'une section transversale

L'éditeur peut être utilisé pour créer des sections transversales personnalisées acier, béton ou composites. Les composants d'une section transversale complexe, mais non composite auront le même matériau. Les sections transversales composites sont paramétriques et créées à partir de deux ou trois matériaux.

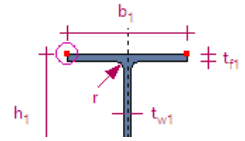
Sections transversales métal



Un composant appartenant à la catégorie métal peut être ajouté à votre section transversale.

Point de référence

Vous pouvez sélectionner un point de base pour chaque composant de la section transversale, ce qui Cette commande vous permet de positionner le composant pendant le montage, en fonction de sa forme et de son emplacement final dans la section transversale composite.



Les formes standard peuvent également être définies de manière paramétrique. Dans ce cas, les paramètres suivants doivent être définis dans le dialogue:

Processus de fabrication

Il existe trois options (laminé, soudé, formé à froid.)

Dimensions

Les valeurs dépendent du type de section transversale (hauteur, largeur, épaisseur, rayon de coin/filet, diamètre, etc.)

Rotation

Permet de définir une rotation par angle α. La valeur par défaut est 0.

Profilé en I



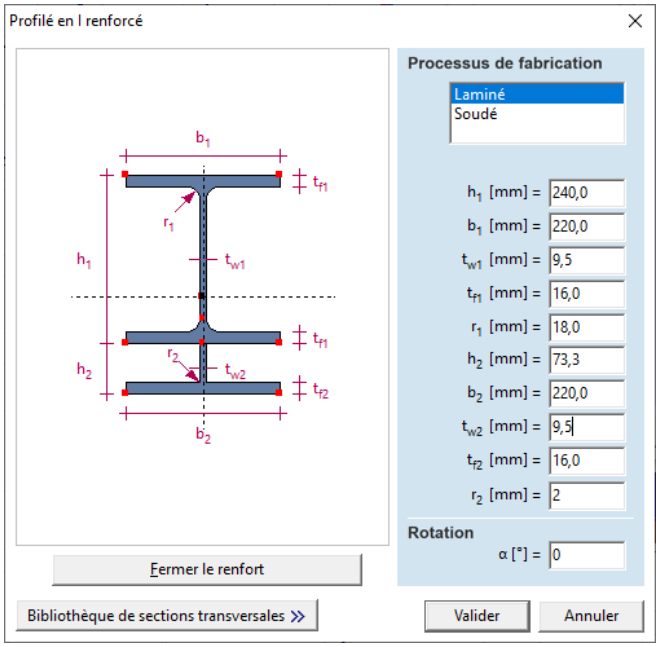
,

Profilé en I renforçé



Profilé en double I renforcé



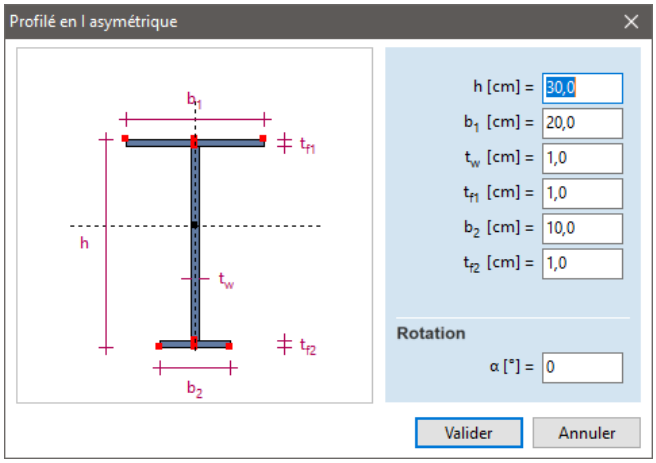


Définition d'un I ou d'un double I renforcé formé par sa hauteur, sa largeur, l'épaisseur de son âme et de ses ailes et un rayon de congé.

Le bouton *Fermer le renfort* permet de définir la taille minimale possible du renfort ce qui aide à définir la surface de la section d'une poutre renforcée à section variable.
Le bouton Bibliothèque des sections permet de choisir un composant du profilé en I (la section transversale du noyau ou le profilé en I ou en T) dans la bibliothèque.

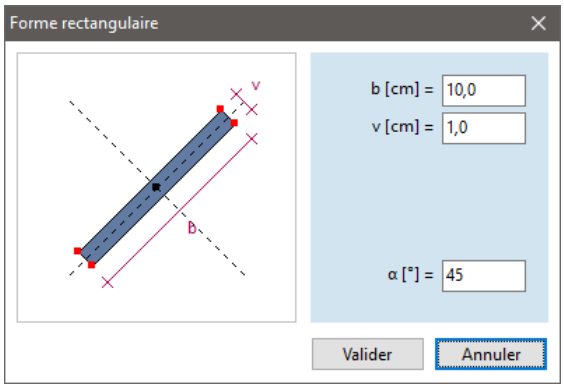
Profilé en I asymétrique





Définition d'un profilé en I asymétrique formé par sa hauteur, sa largeur, son âme et les dimensions de ses ailes inférieures et supérieures

Profilé Rectangulaire



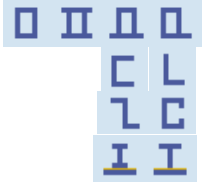
Définition d'un rectangle formé par ses paramètres *b* (largeur), *v* (épaisseur), et , avec *b* > *v*.

Profilé tubulaire



Définition d'un tuyau formé par ses paramètres *d* (diamètre extérieur), et *v* (épaisseur). La ligne centrale est considérée comme le contour d'un domaine fermé, qui est affiché avec une ligne pointillée.

Autres formes de profilés



Définition des sections transversales formées par la hauteur, la largeur, l'épaisseur et, dans le cas des sections transversales laminées ou pliées, par le rayon de coin/filet.

Profilés en Formes doubles



La section transversale de base peut être définie de manière paramétrique (largeur, hauteur, épaisseur de l'âme et des ailes) ou être extraite de la bibliothèque des sections transversales.
Paramètres spéciaux pour les formes doubles:

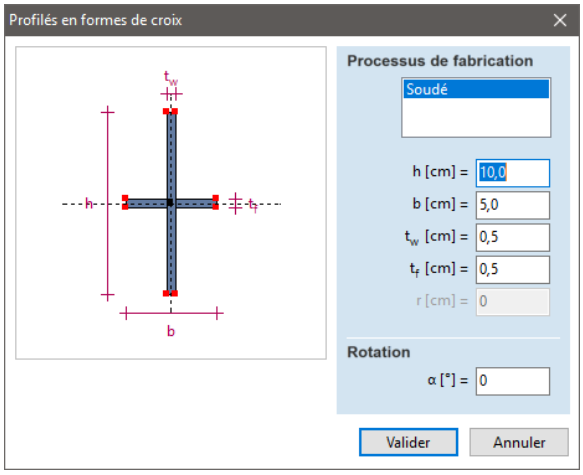
Distance: *a*
Orientation: face ou dos à dos (dans le cas de 2U)

Formes en croix



Formes 2I en croix

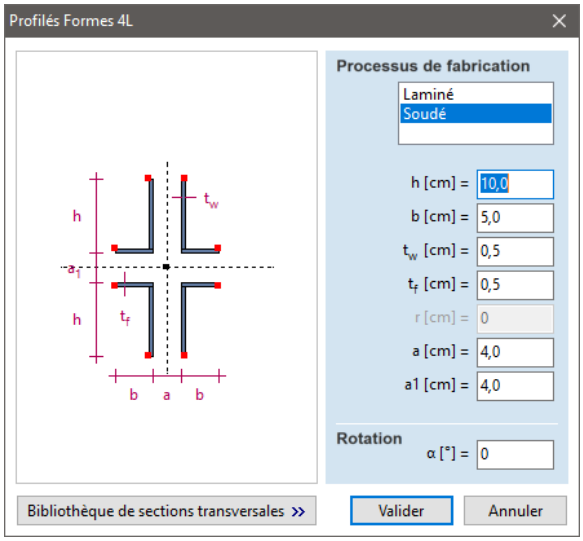




Définition d'un profilé en forme de croix par ses paramètres : *h* (hauteur), *b* (largeur), *tw* (épaisseur de l'âme) et *tf* (épaisseur des ailes).

Formes 4L

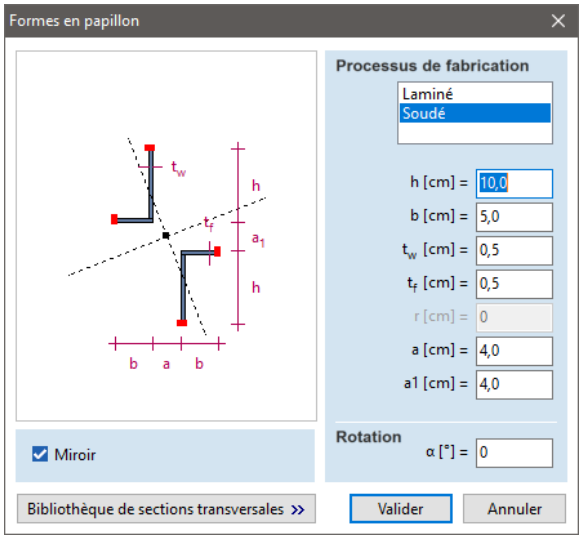




Définition d'une forme 4L par ses paramètres *h* (hauteur), *b* (largeur), *tw* (épaisseur de l'âme) et *tf* (épaisseur des ailles) , *a, a1* (distances) et *r* (rayon d'arrondi).

Formes de papillons





Définition d'une forme de papillon par ses paramètres *h* (hauteur), *b* (largeur), *tw* (épaisseur de l'âme) et *tf* (épaisseur de l'aile), *a, a1* (distances) et *r* (rayon d'arrondi).

Polygonal

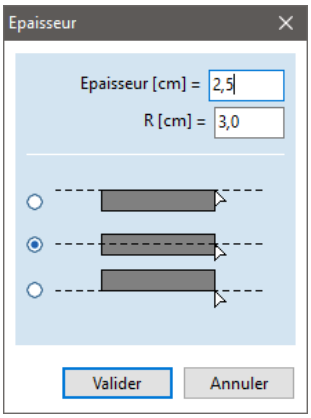


Définition d'une forme polygonale.

Avant la définition, la position de la ligne de contrôle du segment peut être sélectionnée :

1. côté gauche
2. ligne centrale
3. côté droit

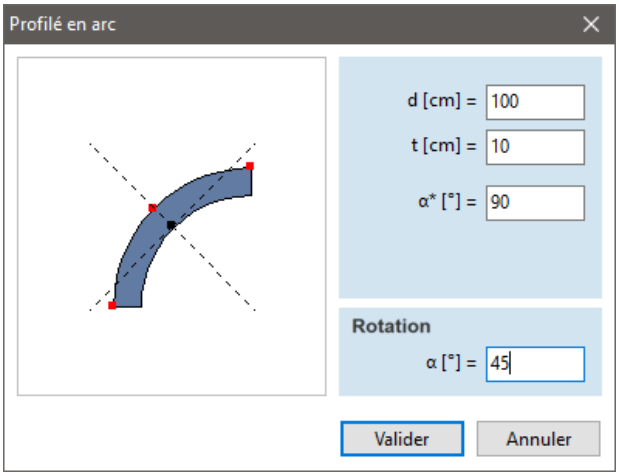
R: Rayons d'arrondi (coin et filet)



Forme de l'arc

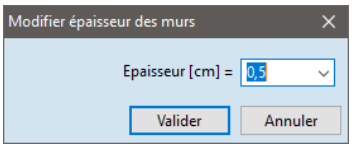


Définition d'une forme *d*'arc par d (diamètre), *α** (angle central) et *t* (épaisseur).



Modification de l' épaisseur des murs / parois





Pour les sections transversales métal, l'épaisseur des segments sélectionnés peut être modifiée individuellement. Pour les formes paramétriques, l'épaisseur de la paroi peut être modifiée par le biais des paramètres.

Supprimer

En utilisant la touche **[Suppr],** vous pouvez invoquer la barre d'icônes de sélection et sélectionner les éléments que vous souhaitez supprimer.
Lors de la suppression d'un composant, les points de contrainte seront également supprimés.

Point de contrainte

Supprime les points de contrainte sélectionnés.

☞ **Vous ne pouvez pas supprimer le point de contrainte par défaut (le centre de gravité).**

Options

Cette commande vous permet de régler la taille de la trame, le pas du curseur et les facteurs de zoom.

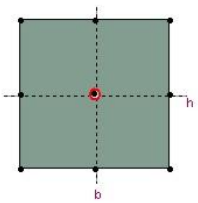
Sections transversales béton



Formes paramétriques:

Rectangle

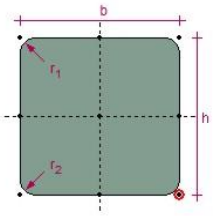




Rectangle d'une largeur de *b* et d'une hauteur de *h*.

Rectangle arrondi

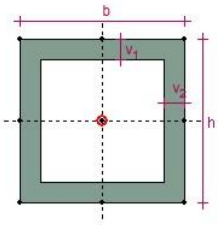




Rectangle arrondi de largeur *b, de* hauteur *h* et de rayons d'arrondi *r1, r2*.

Rectangle creux

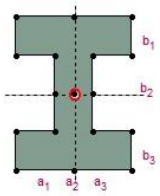




Rectangle creux de largeur *b, de* hauteur *h* et d'épaisseur de paroi *v1, v2*.

Forme en I

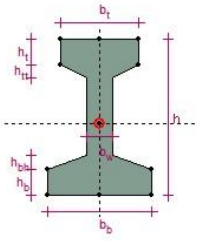




La forme de I est définie par les paramètres *a1, a2, a3, b1, b2, b3*.
Un des paramètres *(a1, a3), (b1, b3)* peut être mis à zéro pour définir les formes T, U, L

Forme en I Renforcée

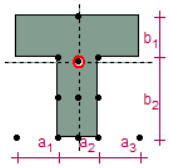




La forme en I renforcée est définie par l'épaisseur de l'âme *bw, bt, bb* largeur supérieure et inférieure, *h* connehauteur totale et *ht, hth, hb, hbh* autres paramètres.

Forme en T

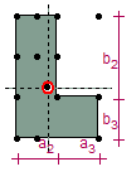




Défini comme une forme de I, mais *b3* = 0.

Forme en L

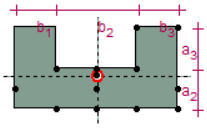




Défini comme une forme en I, mais *a1* = 0 et *b3* = 0.

Forme en U

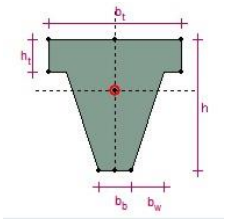




Défini comme une forme de I, mais *a1* = 0.

Forme en T avec âme renforcée

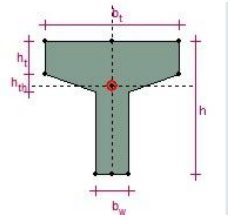




La forme en T avec âme renforcée est définie par *bw, bb, bt* largeur, a *h* hauteur totale et *ht,* épaisseur de l'aile

Forme en T avec ailes renforcées

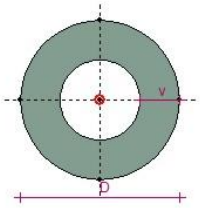




La forme en T avec ailes renforcées est définie par les paramètres suivants: *bw,* largeur de l'aile, *bt* largeur totale, *h* hauteur totale et *ht , hth*

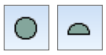
Cercle creux

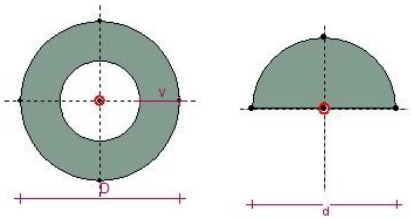




Cercle creux défini par le diamètre extérieur *D* et l'épaisseur de la paroi *V*.

Forme ronde ou semi-circulaire

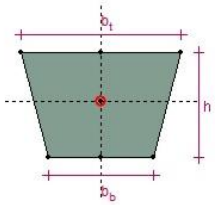




Forme ronde ou semi-circulaire *d*'un diamètre de *d*.

Trapèze symétrique





Trapèze symétrique avec *bt, bb en* haut et en bas et une hauteur de *h*.

Polygonal



Définition d'une forme polygonale par le dessin d'un polygone complexe. Appuyez sur la touche [Echap], cliquez sur le bouton droit de la souris ou fermez le polygone pour terminer l'édition. Pendant l'édition, la palette de dialogue rapide suivante apparaît :





Ligne



Tangente



Arc avec point central



Arc de trois points



Arc tangentiel



Arc avec une tangente donnée

Insérer un sommet



Insertion d'un nouveau sommet sur le contour de la section transversale. La forme de la section transversale peut être modifiée en faisant glisser un sommet à l'aide de la souris.

Contour



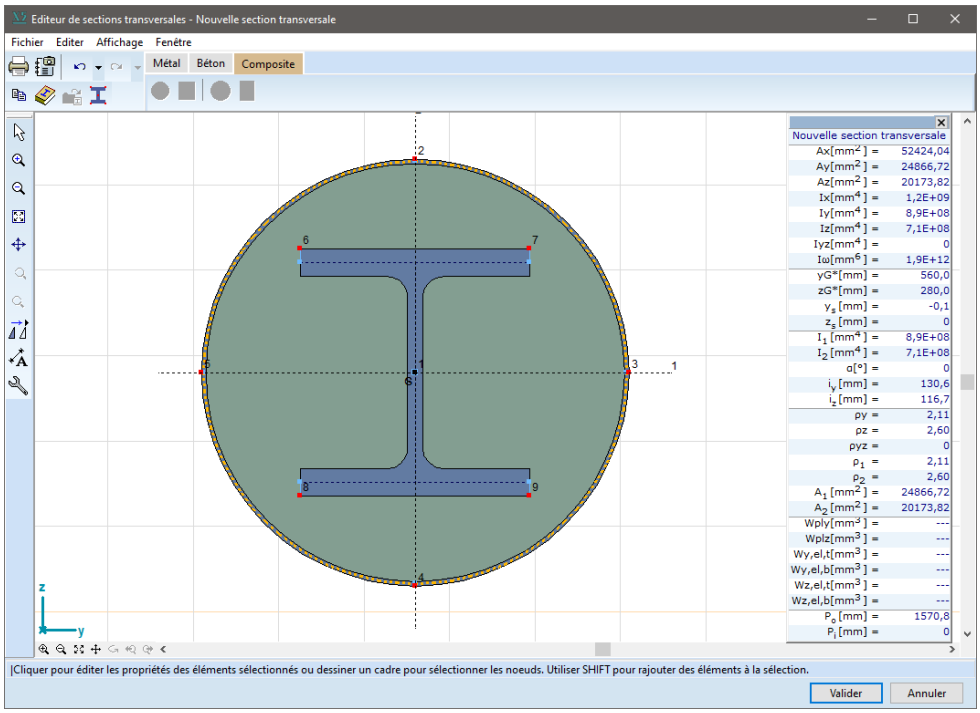
Si le bouton Contour est en bas, la section transversale peut être définie. Si le bouton trou est en bas, un trou peut être défini.

Trou



Vous pouvez spécifier un trou dans les composantes de forme rectangulaire, circulaire et polygonale fermée. Le trou peut être rectangulaire, circulaire ou polygonal fermé.

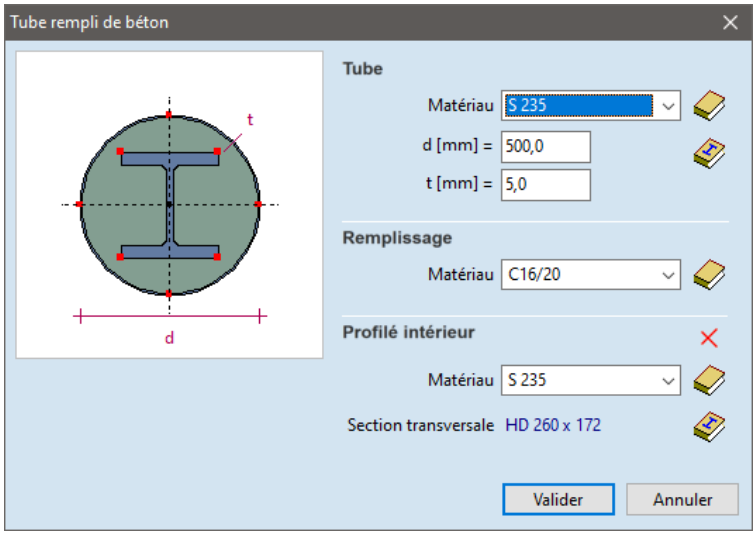
Sections transversales composites



Les sections transversales composites sont constituées de deux ou trois matériaux différents.
Si la section transversale composite contient un profilé intérieur, le centre de gravité du profilé intérieur se trouvera à la position du centre de gravité de la section transversale extérieure. Si le profilé intérieur est trop grand pour s'insérer dans la section transversale extérieure, le dessin de la boîte de dialogue de définition est remplacé par un rectangle barré.

Tube rempli de béton





La définition d'un tube rempli de béton nécessite les paramètres suivants: le matériau, le diamètre d et l'épaisseur t du tube et le matériau de remplissage. Un profil intérieur optionnel peut également être défini.



Les matériaux peuvent être importés de la bibliothèque de matériaux, voir... *3.1.15. Bibliothèque de matériaux*

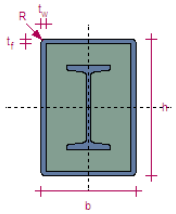


La section transversale du tube peut être saisie de manière paramétrique ou sélectionnée dans les sections transversales de tube de la bibliothèque des sections transversales, voir... *3.1.16. Bibliothèque de sections* .
Le profilé intérieur peut être aussi sélectionné dans la bibliothèque des sections transversales.



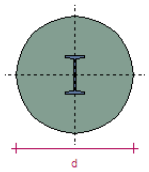
Le profil intérieur sélectionné peut être retiré de la section transversale.

Forme en boîte remplie de béton



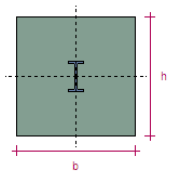
La définition d'une forme en boîte remplie de béton nécessite les paramètres suivants : le matériau, la largeur *b, la* hauteur *h, les* valeurs d'épaisseur *tf* et *tw de la* boîte et le matériau du remplissage. Un profil intérieur optionnel peut également être défini.

Profil circulaire en béton



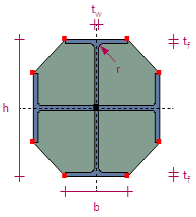
La définition d'un profil circulaire en béton nécessite les paramètres suivants : le matériau et le diamètre d de la forme ronde, un profilé intérieur et son matériau.

Profil rectangulaire en béton



La définition d'un profil rectangulaire en béton nécessite les paramètres suivants : le matériau, la largeur *b et la* hauteur *h de la* forme rectangulaire, un profilé intérieur et son matériau.

Forme 2I en croix Remplie de béton



La définition d'une forme 2I en croix remplie de béton nécessite les paramètres suivants : le matériau de la forme 2I en croix et du remplissage, la hauteur h, la largeur des ailes b et deux valeurs d'épaisseur de paroi: l'épaisseur de l'aile tf et l'épaisseur d'âme tw.

Supprimer

La touche **[Suppr]** Cette commande vous permet d'ouvrir la fenêtre de sélection et de sélectionner les éléments à supprimer.
Lors de la suppression d'un composant, les points de contrainte seront également supprimés.

Polygone Supprime les éléments sélectionnés.

Point de contrainte Supprime les points de contrainte sélectionnés.

☞ **Vous ne pouvez pas supprimer le point de contrainte par défaut (à partir du centre de gravité).**

Options Cette commande vous permet de régler la taille de la trame, le pas du curseur et les facteurs de zoom.

Calculer les propriétés

Les propriétés des sections transversales suivantes sont calculées :

AxisVM calcule Ax, Iy, Iz, Iyz par intégration, **Ay, Az, Ix, Iω, ρ_y, ρ_z, ρ_{yz}, ρ_1, ρ_2, A1, A2** en effectuant une analyse par éléments finis de la section transversale.

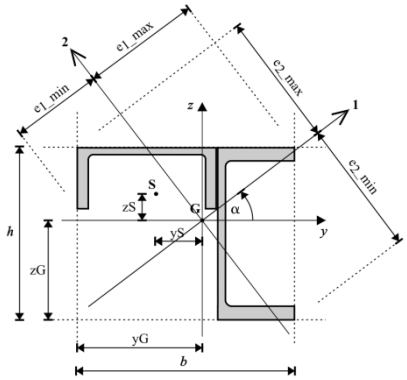
☞ **Dans le cas d'une section transversale composée de deux ou plusieurs parties indépendantes, A_y, A_z, ρ_y, ρ_z, ρ_{yz}, ρ_1, ρ_2, A_1, A_2 ne sont pas déterminés.**

A_x	Surface axiale (transversale)
A_y	Zone de cisaillement dans la direction *y* locale
A_z	Zone de cisaillement dans la direction *z* locale
I_x	Inertie de torsion
I_y	Inertie de flexion autour de l'axe ***y*** local
I_z	Inertie de flexion autour de l'axe ***z*** local
I_{yz}	L'inertie centrifuge
I_1(*)	Inertie principale autour du 1er axe local
I_2(*)	Inertie principale autour du 2ème axe local
α	Angle entre le 1er axe local et l'axe y local.
I_ω	Module de déformation (utilisé pour l'étude des profilés en acier)
ρ_y	Facteur de cisaillement dans la direction ***y*** locale
ρ_z	Facteur de cisaillement dans la direction ***y*** locale

ρ_{yz}	Facteur de cisaillement pour le plan locale ***yz***
ρ_1	Facteur de cisaillement pour la 1ère direction locale
ρ_2	Facteur de cisaillement pour la 2ème direction locale
A_1(*)	Zone de cisaillement associée aux forces de cisaillement dans la 1ère direction locale
A_2(*)	Zone de cisaillement associée aux forces de cisaillement dans la 2ème direction locale
$W_{1,el,t}$(*)	Module d'élasticité en coupe transversale en haut = *I1 / e2_max* (voir diagramme ci-dessous)
$W_{1,el,b}$(*)	Module d'élasticité en coupe transversale, en bas = *I1 / e2_min*
$W_{2,el,t}$(*)	Module d'élasticité en coupe transversale, en haut = *I2 / e1_max*
$W_{2,el,b}$(*)	Module d'élasticité en coupe transversale, en bas = *I2 / e1_min*
$W_{1,pl}$(*)	Module de plasticité en coupe transversale
$W_{2,pl}$(*)	Module de plasticité en coupe transversale
i_1	Rayon d'inertie autour du 1er axe local
i_2	Rayon d'inertie autour du 2ème axe local
y_G	Position du centre de gravité de la section transversale dans la direction locale y par rapport au coin inférieur gauche du rectangle circonscrit
z_G	Position du centre de gravité de la section transversale dans la direction locale z par rapport au coin inférieur gauche du rectangle circonscrit
y_s, z_s	Position du centre de cisaillement dans les directions locales y et z par rapport au centre de gravité
P_o	Circonférence extérieure (contour de la section transversale)
P_i	Circonférence intérieure (trous)

(*) Si les premier et deuxième axes principaux sont les axes locaux *y et z, les* valeurs avec (*) apparaissent avec les indices *y* et *z*.

Inertie principale



$$I_1 = \frac{I_y + I_z}{2} + \sqrt{\left(\frac{I_y - I_z}{2}\right)^2 + I_{yz}^2}$$

$$I_2 = \frac{I_y + I_z}{2} + \sqrt{\left(\frac{I_y - I_z}{2}\right)^2 + I_{yz}^2}$$

$$\tan(2\alpha) = \frac{2I_{yz}}{I_y - I_z}$$

$-90° < \alpha \leq +90°$par rapport à l'axe *y* local de la section transversale.

Calcul du module de plasticité en section transversale

$$W_{1,el,sup} = \frac{I_1}{e_{2,max}} \qquad W_{1,el,inf} = \frac{I_1}{e_{2,min}}$$

$$W_{2,el,sup} = \frac{I_2}{e_{1,max}} \qquad W_{2,el,inf} = \frac{I_2}{e_{1,min}}$$

Déformations par cisaillement

Pour les éléments de poutre, les déformations de cisaillement ne sont pas prises en compte même si la section transversale a été saisie avec une valeur non nulle pour la zone de cisaillement.

Les zones de cisaillement qui sont utilisées par les éléments des nervures sont, $A_y = 0$ et $A_z = 0$.

Dans le module d'étude acier, les surfaces de cisaillement sont calculées en fonction du code d'étude correspondant, au lieu d'utiliser les valeurs saisies ici.

$A_y = A_x/\rho_y \quad A_z = A_x/\rho_z$ où ρ = Facteur de cisaillement

Le concept de surface de cisaillement et de facteur de cisaillement permet de représenter correctement les déformations de cisaillement γ_xy (y,z) et γ_xz (y,z) continuellement variables de la section réelle par des déformations de cisaillement moyennes γ_(xy,avg) et γ_(xz,avg). La représentation correcte garantit que le travail effectué par les forces de cisaillement résultantes V_y et V_z le long de la déformation moyenne en cisaillement est égal au travail effectué par la contrainte de cisaillement variant continuellement τ_xy (y,z) et τ_xz (y,z) de la section transversale réelle [16 ; 6.3, 45 ; pp. 219-221].
L'équation de la force de cisaillement interne dans la direction z :

$$\frac{1}{2} V_z \, \gamma_{xz,avg} = \frac{1}{2} \int \left[\tau_{xy}(y,z)\gamma_{xy}(y,z) + \tau_{xz}(y,z)\gamma_{xz}(y,z)\right] dA$$

La distribution des contraintes dans la section transversale due à la force de cisaillement V_z peut-être dérivée de la fonction de contrainte de cisaillement $\Phi_z(y,z)$ calculée par la méthode des éléments finis :

$$\tau_{xy}(y,z) = \frac{V_z}{A_x}\frac{\partial \Phi_z}{\partial y} \qquad \tau_{xz}(y,z) = \frac{V_z}{A_x}\frac{\partial \Phi_z}{\partial z}$$

La loi de Hooke pour la déformation de cisaillement et la contrainte de cisaillement est :

$$\tau_{xy}(y,z) = G\gamma_{xy}(y,z) \qquad \tau_{xz}(y,z) = G\gamma_{xz}(y,z)$$

En les substituant dans l'intégrande, on obtient la formule suivante pour la déviation moyenne en cisaillement :

$$\gamma_{xy,avg} = \frac{V_z}{GA_x^2}\int\left[\left(\frac{\partial \Phi_z}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi_z}{\partial z}\right)^2\right]dA$$

En introduisant le facteur de cisaillement de la section transversale $\rho_z = \frac{A_x}{\int\left[\left(\frac{\partial \Phi_z}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi_z}{\partial z}\right)^2\right]dA}$ nous pouvons écrire

$$\gamma_{xy,avg} = \frac{V_z}{G\frac{A_x}{\rho_z}} = \frac{V_z}{GA_z}$$

Cette formule montre que la déformation moyenne en cisaillement peut être calculée comme si la section transversale déterminant la rigidité en cisaillement de l'élément fini était A_z au lieu de l'actuel A_x.
Il en va de même pour la force de cisaillement dans la direction y.

☞ **Il est important de noter que l'aire de cisaillement réduite ne peut être utilisée que pour obtenir la rigidité en cisaillement de l'élément fini. La contrainte de cisaillement moyenne doit être calculée en utilisant la surface réelle :**

$$\tau_{xy,avg} = \frac{V_y}{A_x} \qquad \tau_{xz,avg} = \frac{V_z}{A_x}$$

☞ **Les forces de cisaillement simultanées dans les directions y et z nécessiteraient l'introduction d'une section transversale de cisaillement mixte ρ_{yz} [16; 6.3]. Cependant, la valeur calculée n'est qu'indicative car les éléments décrivant l'interaction des forces de cisaillement dans les directions y et z sont négligés lors de la génération de la matrice de rigidité des éléments finis de la nervure**

Calculer les propriétés des sections transversales composites

Les propriétés d'une section transversale composite sont calculées comme la somme pondérée par le module [16, chapitre 1.2] des propriétés de ses parties. Les modules de référence $\mathrm{E_{ref}}$ et $\mathrm{G_{ref}}$ appartiennent à la matière de la partie extérieure.

$$A_x = \frac{1}{E_{ref}}\sum E_i A_{x,i} \qquad I_x = \frac{1}{G_{ref}}\sum G_i I_{x,i} \qquad \rho_y = \frac{G_{ref}A_x}{\sum\frac{G_i A_{x,i}}{\rho_{y,i}}}$$

$$A_y = \frac{1}{G_{ref}}\sum G_i A_{y,i} \qquad I_y = \frac{1}{E_{ref}}\sum E_i I_{y,i} \qquad \rho_z = \frac{G_{ref}A_x}{\sum\frac{G_i A_{x,i}}{\rho_{z,i}}}$$

$$A_z = \frac{1}{G_{ref}}\sum G_i A_{z,i} \qquad I_z = \frac{1}{E_{ref}}\sum E_i I_{z,i} \qquad \rho_{yz} = \frac{G_{ref}A_x}{\sum\frac{G_i A_{x,i}}{\rho_{yz,i}}}$$

$$I_{yz} = \frac{1}{E_{ref}}\sum E_i I_{yz,i}$$

$$y_G = \frac{\sum y_{G,i}E_i A_i}{E_{ref}A_x}$$

$$z_G = \frac{\sum z_{G,i}E_i A_i}{E_{ref}A_x}$$

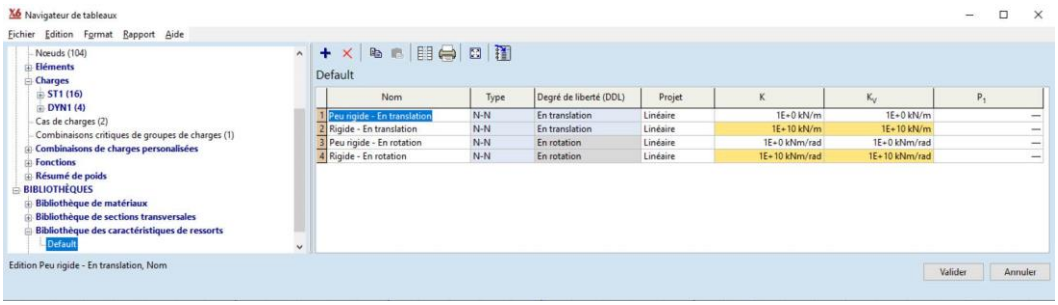
$$y_\omega = \frac{I_{yz}\sum E_i\left(z_{S,i}I_{z,i} - y_{S,i}I_{yz,i}\right) - I_z\sum E_i\left(z_{S,i}I_{yz,i} - y_{S,i}I_{y,i}\right)}{E_{ref}\left(I_y I_z - I_{yz}^2\right)}$$

$$z_\omega = \frac{I_y\sum E_i\left(z_{S,i}I_{z,i} - y_{S,i}I_{yz,i}\right) - I_{yz}\sum E_i\left(z_{S,i}I_{yz,i} - y_{S,i}I_{y,i}\right)}{E_{ref}\left(I_y I_z - I_{yz}^2\right)}$$

$$I_\omega = \frac{1}{E_{ref}} \sum E_i \left[I_{\omega,i} + (y_{S,i} - y_S)^2 I_{y,i} + (z_{S,i} - z_S)^2 I_{z,i} - 2(y_{S,i} - y_S)(z_{S,i} - z_S) I_{yz,i} \right]$$

☞ **La méthode de calcul pondérée par le module est basée sur l'hypothèse qu'il n'y a pas de liaison de cisaillement entre les pièces. Cependant, elle n'a aucun effet pour les paramètres Ax, Iy, Iz, Iyz, y_G, z_G, en raison de la coïncidence du centre de gravité des pièces. Mais les valeurs de Ay, Az, Ix, I_ω, y_S, z_S, ρ_y, ρ_z, ρ_{yz} seraient différentes s'il y avait une connexion de cisaillement.**

3.1.17. Bibliothèque des caractéristiques de ressorts



La fenêtre de la bibliothèque des caractéristiques des ressorts peut également être ouverte à l'aide de l'icône du *navigateur de tableaux* et en sélectionnant *Bibliothèques/Bibliothèque des caractéristiques des ressorts*. En outre, elle est disponible dans plusieurs fenêtres de dialogue pour faciliter la sélection. Voir... *4.9.3. Caractéristiques* du ressort)
La bibliothèque dispose d'une bibliothèque par défaut contenant les caractéristiques des ressorts rigides et souples en fonction des degrés de liberté en translation et en rotation. Ces caractéristiques sont automatiquement ajoutées pour les nouveaux projets. Vous pouvez ajouter une nouvelle bibliothèque et modifier ou étendre les bibliothèques de caractéristiques de ressorts existantes. En cas de création d'une bibliothèque personnalisée, ses éléments seront ajoutés au projet uniquement s'ils sont ajoutés aux caractéristiques de ressort (*4.9.3. Caractéristiques du ressort*) dans le navigateur de tableaux ou s'ils sont sélectionnés dans la bibliothèque lors de la définition d'un nouvel élément de ressort.
Cette bibliothèque permet également de définir des isolateurs sismiques paramétriques.

Propriétés:

Nom	Nom de la caractéristique
Type	Ressort de nœud à nœud (ne peut être modifié)
Degré de liberté	Degré de liberté en matière de translation/rotation
Projet	Comportement du ressort (*Linéaire / NL élastique / Plastique*)
K	Rigidité initiale
Kv	Rigidité vibratoire
Type d'amortisseur	Projet *Kelvin-Voigt* ou *Maxwell*
C	Coefficient d'amortissement
Type d'isolateur	*Palier en caoutchouc, Coulisseau à surface courbe, Autre type*
E_{xy}	Rigidité horizontale efficace
ξ	Taux d'amortissement
Ez	Rigidité verticale
F_1	Force d'élasticité
KT	Rigidité horizontale à l'état plastique
μ	Coefficient de frottement
R	Rayon de courbure équivalent

Le coefficient d'amortissement est indiqué si au moins une caractéristique du ressort a une valeur supérieure à zéro. Les poteaux des paramètres des isolateurs sismiques n'apparaissent que si au moins un isolateur a été défini.

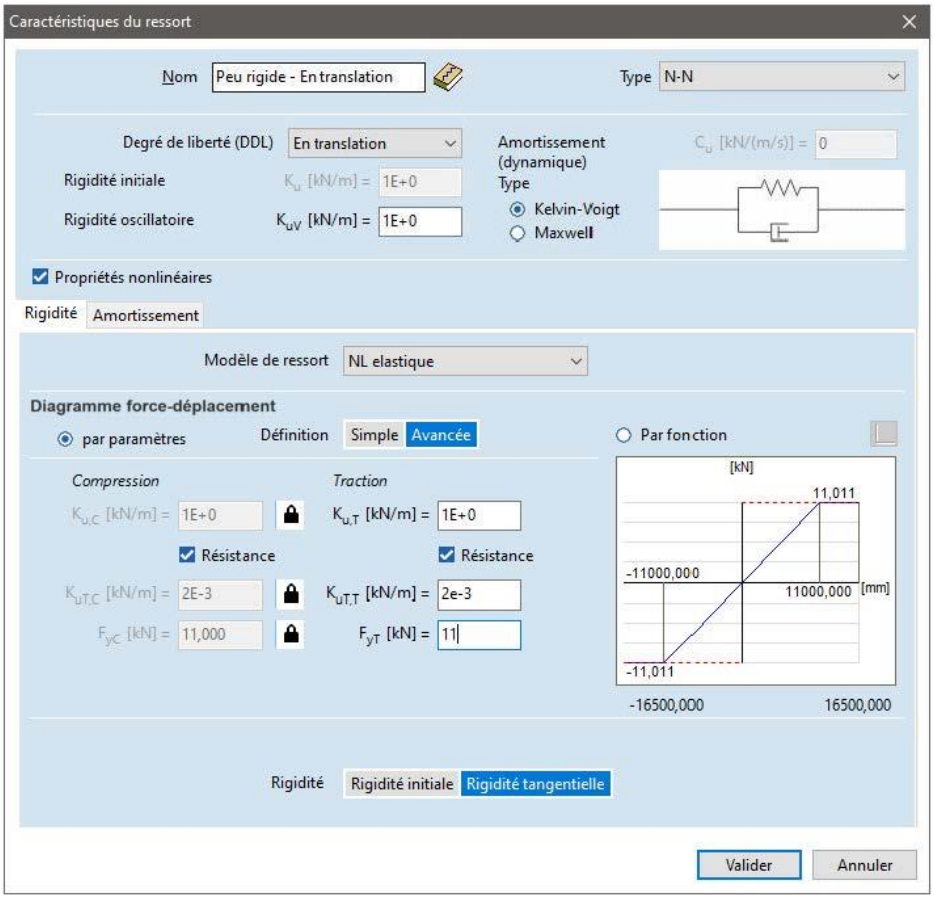
☞ **Les changements dans la bibliothèque des caractéristiques du ressort ne se reflètent pas dans les projets utilisant la caractéristique modifiée du ressort.**

Définir la nouvelle caractéristique du ressort

[Ctrl+Ins]

Modifier les propriétés

Lors de la saisie d'une nouvelle caractéristique de ressort, la boîte de dialogue suivante s'affiche.
En définissant une nouvelle caractéristique de ressort ou en cliquant sur une colonne du tableau (sauf la colonne *Nom*), un dialogue apparaît, dans lequel toutes les propriétés de la caractéristique de ressort peuvent être définies ou modifiées.
Des caractéristiques ayant le même degré de liberté (en translation ou en rotation) ne peuvent pas avoir le même nom. Si un nom existant est saisi, un numéro sera ajouté au nom.
Une caractéristique de ressort présente les propriétés suivantes : *Nom, Type, Degré de liberté, Type d'amortissement*



En cliquant sur l'icône, la boîte de dialogue "*Parcourir la bibliothèque des caractéristiques des ressorts*" *s*'affiche.

3.1.17.1. Ressort de nœud à nœud

Rigidité / Amortissement

En réglage par défaut, les ressorts fonctionnent selon le principe élastique linéaire. Dans le tableau, la colonne *Projet* contient le type de comportement de la caractéristique du ressort.

Degré de liberté en translation

K_u	kN/m	Rigidité initiale
K_{uV}	kN/m	Rigidité vibratoire
C_u	kN/(m/s)	Coefficient d'amortissement

Degré de liberté en rotation

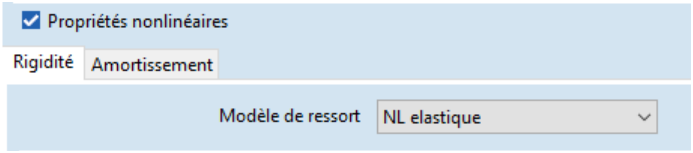
K_r	kNm/rad	Rigidité initiale
K_{rV}	kNm/rad	Rigidité vibratoire
C_r	kNm/(rad/s)	Coefficient d'amortissement angulaire

Propriétés Non linéaire

Un ressort peut avoir un comportement non linéaire comme les matériaux. Les paramètres du comportement non linéaire sont disponibles si les *propriétés non linéaires sont* vérifiées.

Les paramètres de rigidité et d'amortissement peuvent être définis sur différents onglets.

Rigidité



Modèle de ressort

NL élastique Caractéristique non linéaire sans déformation irréversible.

Plastique La déformation irréversible se produit après avoir atteint la force / le moment limite.

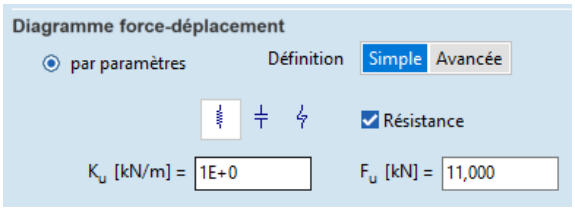
Diagramme Effort - Déplacement

Par paramètres : La fonction de la caractéristique du ressort peut être définie de la même manière que l'appui nodal non linéaire dans les versions précédentes (simple) ou que le diagramme contrainte-déformation des matériaux (avancé). Les unités dépendent du degré de liberté. Le projet plastique nécessite une définition avancée.

Par fonction : Une caractéristique personnalisée peut être définie à l'aide de l'éditeur de fonctions force-déplacement.

Par paramètres, Définition simple

Dans le cas d'une définition simple, la caractéristique peut être définie comme un appui non linéaire. Il existe des options : caractéristique pour la traction et la compression , uniquement la compression, uniquement la traction et pour la résistance.



 Les deux pour la tension / compression

 Compression uniquement

 Tension seulement

En translation

Résistance Caractéristique avec une résistance à l'effort
K_u [kN/m] Rigidité initiale
F_u [kN] Résistance

En rotation

Moment de résistance Caractéristique avec un moment de résistance
K_r [kNm/rad] Rigidité initiale
M_r [kNm] Moment de résistance

Le réglage d'un ressort en compression seulement ou en tension seulement ne fixe pas la rigidité inactive à zéro. Pour éviter l'instabilité numérique, une rigidité négligeable est introduite.

$$\boldsymbol{K_{u0} = \min\left\{10^{-3}\,\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}}\,;\ K_u \cdot 10^{-8}\right\};\ K_{r0} = \min\left\{10^{-3}\,\frac{\mathrm{kNm}}{\mathrm{rad}}\,;\ K_r \cdot 10^{-8}\right\}}$$

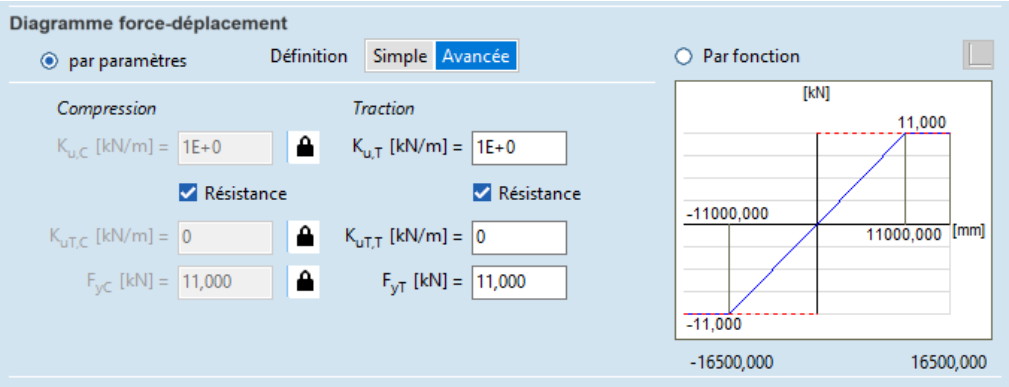
Si la déformation de l'élément est importante, même cette rigidité peut entraîner une force significative. Dans ce cas, choisissez Avancé et définissez une caractéristique avec une résistance du côté inactif.

Par paramètres, (Définition avancée)

En cas de définition avancée, le côté tension et le côté compression peuvent être différents. Si le modèle de ressort est en plastique, les valeurs $K_{u,T}$ et $K_{u,C}$ doivent être identiques, la valeur de $K_{u,C}$ ne peut pas être modifiée.

En utilisant la case à cocher *Résistance, il est* possible de spécifier l'effort/le moment limite et la rigidité tangentielle du diagramme après avoir atteint la force limite. Si la résistance est désactivée, on obtient un diagramme linéaire simple.

La ligne rouge en pointillés représente les valeurs limites F_{yC}, F_{yT} et M_{yC}, M_{yT}.



En translation

$K_{u,T}$ [kN/m]	Rigidité initiale pour la traction
$K_{u,C}$ [kN/m]	Rigidité initiale pour la compression
$K_{uT,T}$ [kN/m]	La pente du diagramme après avoir atteint la force limite de traction
$K_{uT,C}$ [kN/m]	La pente du diagramme après avoir atteint la force limite de compression
F_{yT} [kN]	Résistance à la traction
F_{yC} [kN]	Résistance à la compression

En rotation

$K_{r,T}$ [kNm/rad]	Rigidité initiale pour une rotation positive
$K_{r,C}$ [kNm/rad]	Rigidité initiale pour une rotation négative
$K_{rT,T}$ [kNm/rad]	La pente du diagramme après avoir atteint le moment limite pour une rotation positive
$K_{rT,C}$ [kNm/rad]	La pente du diagramme après avoir atteint le moment limite pour une rotation négative
M_{yT} [kNm]	Moment de résistance pour une rotation positive
M_{yC} [kNm]	Moment de résistance pour une rotation négative

Définition avancée d'une caractéristique active uniquement en traction ou en compression

Le mode avancé offre plusieurs façons de définir une caractéristique élastique non linéaire active sur un seul côté. La solution la plus simple est de définir la fonction à zéro sur le côté inactif. Cependant, cette caractéristique idéalement unilatérale est numériquement la moins stable près de la transition actif/inactif.



$K_{u,T} = 0$; $F_{y,T} = 0$

Au lieu de la caractéristique idéale, il est préférable d'inclure une caractéristique qui a la même rigidité initiale et une résistance négligeable du côté inactif. Cela garantit la stabilité numérique avec une apparence définie de l'état de tension ou de compression, tandis que la résistance peut être réglée si petite qu'elle sera affichée comme zéro avec le nombre donné de décimales. Cependant, des problèmes de stabilité numérique peuvent survenir même avec cette caractéristique. Un comportement inattendu du modèle peut faire que la rigidité active n'assure pas l'équilibre. Dans ce cas, le calcul ne convergera pas.



$K_{u,T} = 0$; $F_{y,T} > 0$

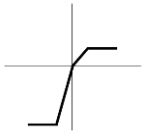
Ce problème de stabilité peut être évité en fixant une pente très faible mais non nulle dans la caractéristique linéaire du côté inactif. De cette façon, une déformation suffisamment importante peut également assurer l'équilibre du côté inactif et des déformations trop importantes nous alerteront du comportement inattendu du modèle. Cependant, il faut également tenir compte du fait que si une déformation à grande échelle dans la direction inactive est le comportement souhaité, une force irréalisable et significative peut se développer sur le côté inactif.



$K_{u,T} > 0$

Définition avancée d'une caractéristique avec une résistance donnée

Une caractéristique avec une résistance donnée peut également être définie comme une caractéristique idéale où la rigidité devient constante après avoir atteint la résistance. Cependant, une rigidité tangentielle nulle peut provoquer une instabilité numérique et un comportement inattendu du modèle peut faire que ces ressorts ne parviennent pas à assurer l'équilibre. Dans ce cas, le calcul ne convergera pas.



$K_{uT,TC} = K_{uT,T} = 0$

Ce problème peut également être résolu en fixant une pente faible mais non nulle après avoir atteint la ré-résistance.

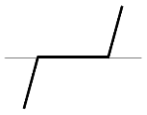
De cette façon, une déformation suffisamment grande peut assurer l'équilibre et des déformations irréalisables nous alerteront du comportement inattendu du modèle. Cependant, il faut aussi considérer que si une déformation à grande échelle est le comportement souhaité, les forces peuvent considérablement dépasser la résistance donnée.



$K_{uT,C} > 0$; $K_{uT,T} > 0$

Définition avancée d'une caractéristique avec jeu

Le jeu peut être simulé en définissant une petite rigidité initiale suivie d'un état élastique non linéaire de grande rigidité. Il est recommandé de remplacer la rigidité nulle idéale par une petite pente et une petite résistance. La caractéristique idéale ne peut pas être définie de manière paramétrique, mais uniquement par l'intermédiaire de l'éditeur de fonctions.



$K_{u,C} = K_{u,T} = 0$



$K_{u,C} = K_{u,T} > 0$

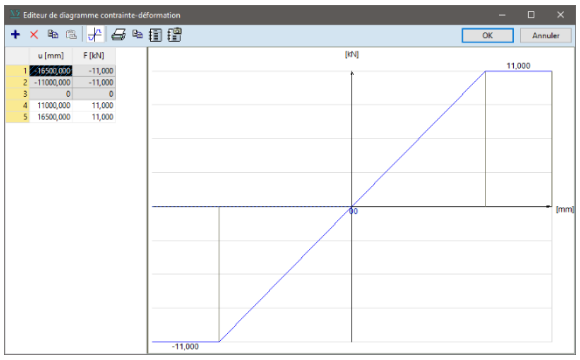
Par fonction



Cliquez sur le petit bouton pour modifier le diagramme.
L'éditeur de fonction est disponible pour les projets de ressorts élastiques non linéaires et les modèles de ressorts en plastique.

Edition du diagramme effort/ déplacement

Les éléments de la barre d'outils sont en grande partie les mêmes que dans *4.10.30 Charges dynamiques (pour l'analyse temps / événement) - module DYN.*

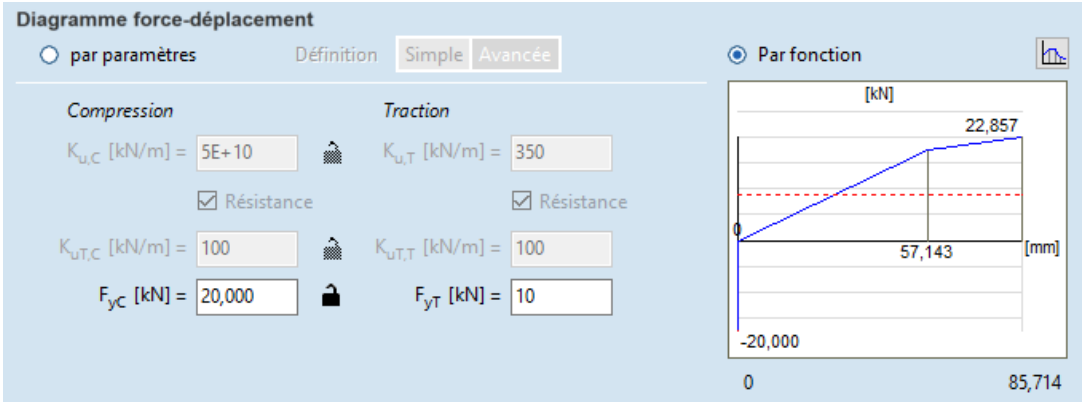


En utilisant l'éditeur de fonctions, les valeurs des paramètres du panneau avancé sont définies sur la base de la fonction de la manière suivante (dans le cas de composantes en translation)

$K_{u,T}$ [kN/m]	La pente du premier segment du côté de la traction
$K_{u,c}$ [kN/m]	La pente du premier segment du côté de la compression
$K_{uT,T}$ [kN/m]	La pente du dernier segment du côté de la traction
$K_{uT,C}$ [kN/m]	La pente du premier segment du côté de la compression
$F_{y,T}$ [kN]	*Plastique* - Premier point de rupture du côté de la traction *NL élastique* - Éditable
$F_{y,C}$ [kN]	*Plastique* - Premier point de rupture du côté de la compression *NL élastique* - Éditable

L'utilisateur ne peut entrer les valeurs limites (résistances) que dans le cas du projet de ressort *élastique NL* et l'exploitation sera calculée en comparant à cette valeur.
Pour le projet de ressort en plastique, les valeurs des paramètres ne peuvent pas être éditées et $K_{u,T} = K_{u,c}$.

☞ **Le diagramme force-déplacement doit être monotone et croissant.**
Dans le cas d'une caractéristique plastique, la pente du diagramme doit être monotone et décroissante.



Règle de durcissement

Disponible uniquement si le projet de ressort en *plastique* est sélectionné.
Le durcissement isotrope signifie que les résistances à la traction et à la compression augmentent.
Le durcissement cinématique signifie que la résistance à la traction augmente et la résistance à la compression diminue sous traction, la résistance à la traction diminue et la résistance à la compression augmente sous compression alors que leur différence reste constante. Voir... *3.1.15 Bibliothèque de matériaux* Bibliothèque de matéri

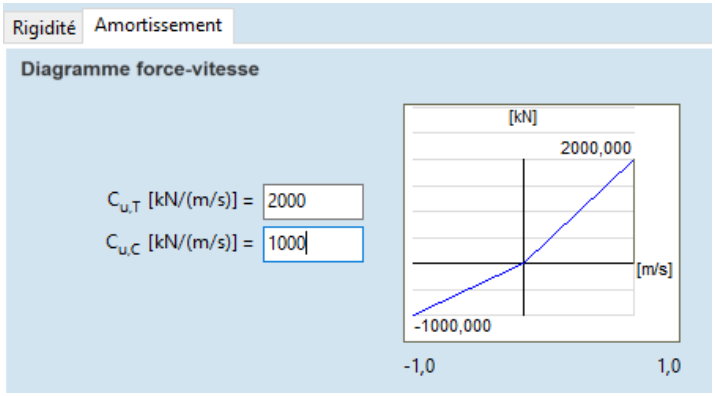
Rigidité

Rigidité initiale — La matrice de rigidité initiale matériellement linéaire est utilisée pour évaluer la matrice de rigidité globale. Le calcul est plus lent (plus d'itérations sont nécessaires) mais la convergence est plus stable.

Rigidité tangentielle — La matrice de rigidité tangente Matériellement non linéaire est utilisée pour évaluer la matrice de rigidité globale. Le calcul est plus rapide (moins d'itérations sont nécessaires) mais si les incréments ne sont pas assez petits, des problèmes de convergence peuvent survenir.

Amortissement

Une fonction bilinéaire peut être définie, où les coefficients d'amortissement pour la tension et la compression peuvent différer.



$C_{u,T}$ *[kN/(m/s)]* Coefficient d'amortissement pour la traction
$C_{u,c}$ *[kN/(m/s)]* Coefficient d'amortissement pour la compression

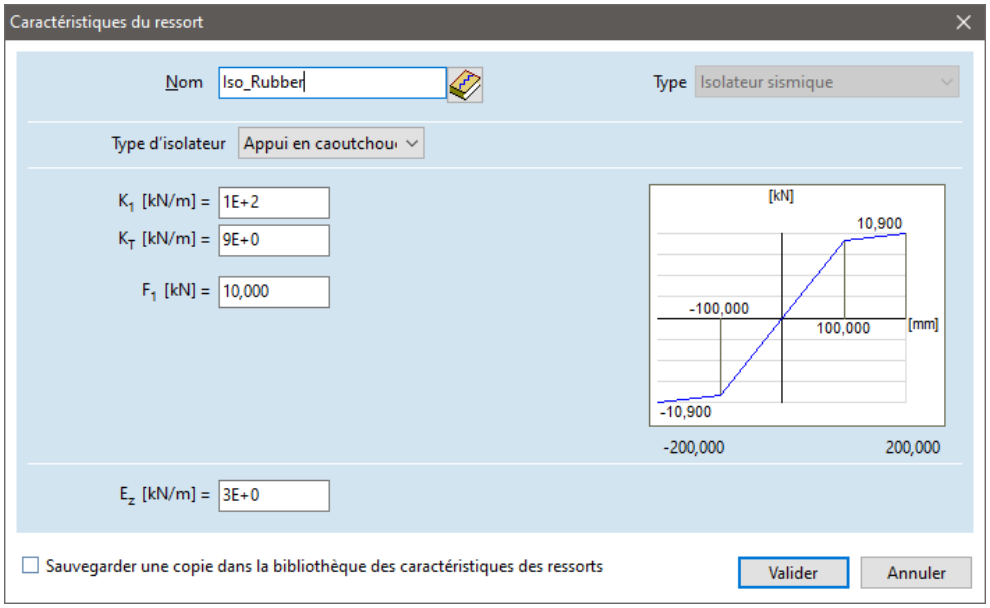
Si l'analyse utilise un projet de matériau linéaire, le coefficient d'amortissement est la moyenne des deux valeurs: $C_u = (C_{u,T}C_{u,C})/2$

3.1.17.2. Isolateurs sismiques

Type

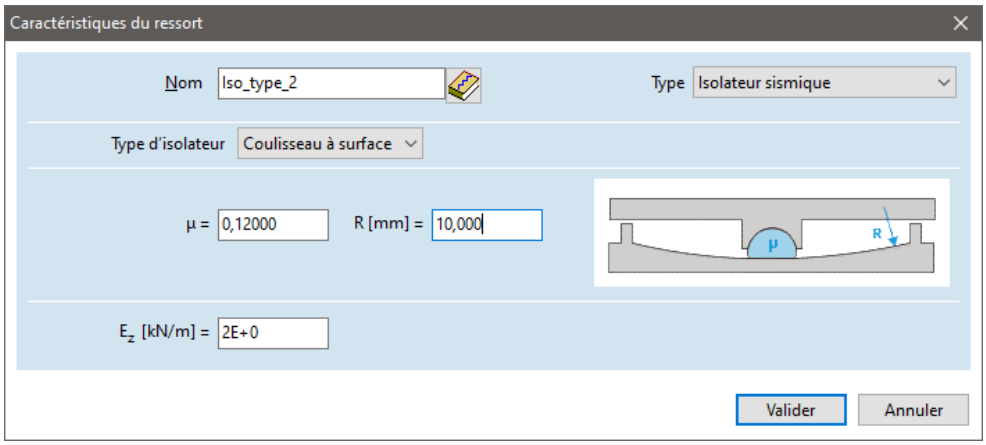
Trois types d'isolateurs sismiques sont disponibles : *Appui en caoutchouc, Coulisseau à surface courbe* et *Autre type.*

Appui en caoutchouc



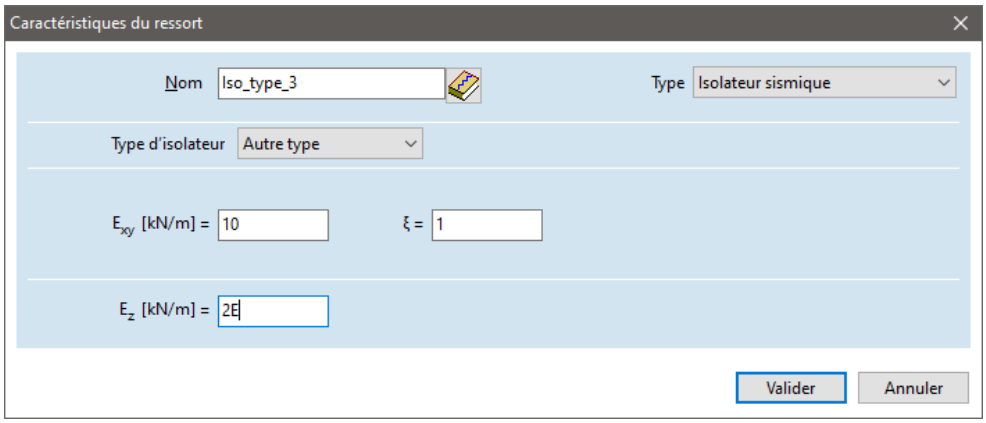
K_1 [kN/m] Valeur initiale de la rigidité horizontale
K_T [kN/m] Rigidité horizontale à l'état plastique
F_1 [kN] Force d'élasticité
E_z [kN/m] Rigidité verticale

Coulisseau à surface courbe



μ Coefficient de frottement
R [mm] Rayon de courbure équivalent
E_z [kN/m] Rigidité verticale

Autre type



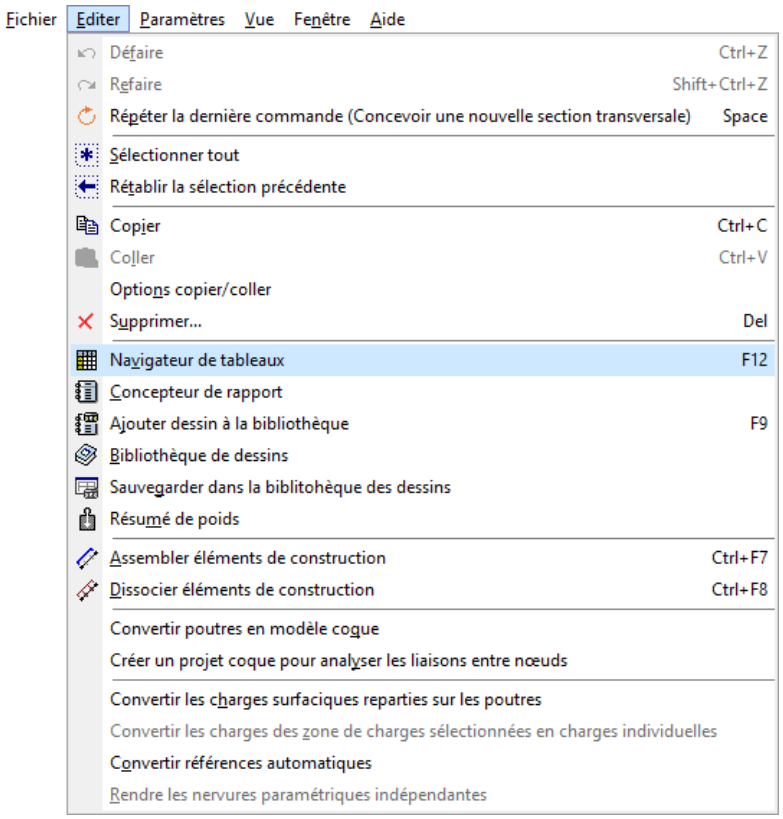
E_{xy} [kN/m]	Rigidité horizontale efficace
ξ	Taux d'amortissement
E_z [kN/m]	Rigidité verticale

Pour plus de détails, voir... *4.9.19. Isolateurs sismiques*

3.1.18. Sortie

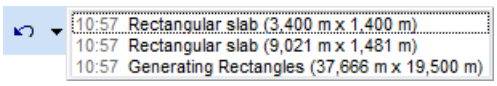
[Ctrl]+ [Q] Quitte le programme.

3.2. Edition



3.2.1. Défaire


Ctrl Z

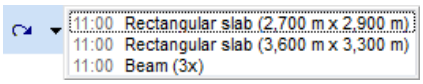


Annule l'effet des commandes précédentes. Pour annuler une séquence d'actions (plus de niveaux), cliquez sur la flèche vers le bas à côté de l'icône Annuler, puis sélectionnez les actions que vous voulez annuler en fonction de l'heure ou du type de commandes.
Vous pouvez définir le nombre de niveaux d'annulation/rétablissement (maximum 99) dans la boîte de dialogue *Paramètres / Préférences / Sécurité des données du* menu principal.

3.2.2. Refaire



[Maj]+Ctrl Z



Annule la commande d'annulation ou avance pour inverser une ou plusieurs commandes d'annulation. Vous pouvez sélectionner les actions que vous souhaitez refaire en fonction de l'heure ou du type de commandes.

3.2.3. Répéter la dernière commande



Espace

Lance à nouveau la dernière commande si elle a été lancée en cliquant sur une icône ou en appuyant sur un raccourci clavier.
Le nom de la dernière commande est également affiché.

3.2.4. Sélectionner tout



Ctrl A

Voir... *2.16.1. Sélection*

3.2.5. Rétablir la sélection précédente



[Maj]+Ctrl R

Voir... *2.16.1. Sélection*

3.2.6. Copier



[Ctrl]+ [C]

Copie les éléments sélectionnés du projet dans le presse-papiers. Si rien n'est sélectionné mais qu'il y a des parties actives, les parties actives sont copiées. Si ni la sélection ni les parties actives ne sont présentes, le projet entier est copié.
Cette fonction copie le dessin de la fenêtre graphique actuelle dans le presse-papiers comme dans les versions précédentes mais cette opération peut être désactivée.

3.2.7. Coller



[Ctrl]+ [V]

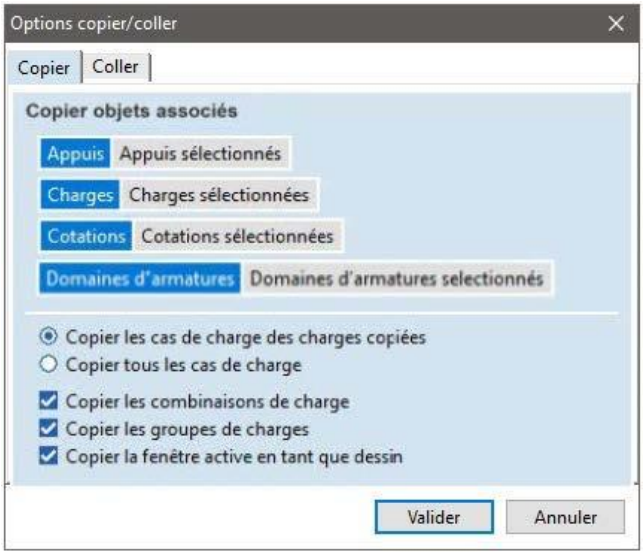
Coller les éléments d'AxisVM du Presse-papiers. Pour les options de collage, voir le chapitre suivant: Options de copier/coller.

3.2.8. Options de copier/coller

Options de copie

Les éléments sélectionnés sont toujours copiés dans le presse-papiers. Les parties définies par l'utilisateur contenant les éléments sélectionnés sont également copiées.
Si des domaines, poutres, nervures, fermes sont copiés, certains objets associés (appuis, charges, lignes de côtes, domaines d'armature) sont également copiés.

Si vous souhaitez contrôler les objets associés qui doivent être copiés, sélectionnez-les et choisissez une ou plusieurs des options suivantes: *appui sélectionnés / Charges sélectionnées / Cotations sélectionnées / Domaines d'armature sélectionnés.*
Les cas de charge sont copiés avec les charges.
Si vous voulez copier tous les cas de charge, choisissez Copier *tous les cas de charge au* lieu de *Copier les cas de* charge *des charges copiées.*
Les combinaisons de charges et les groupes de charges peuvent également être copiés.
Activez l'option *Copier* la *fenêtre active en tant que dessin* pour copier la fenêtre active comme un graphique également (c'était la seule option dans les versions précédentes).

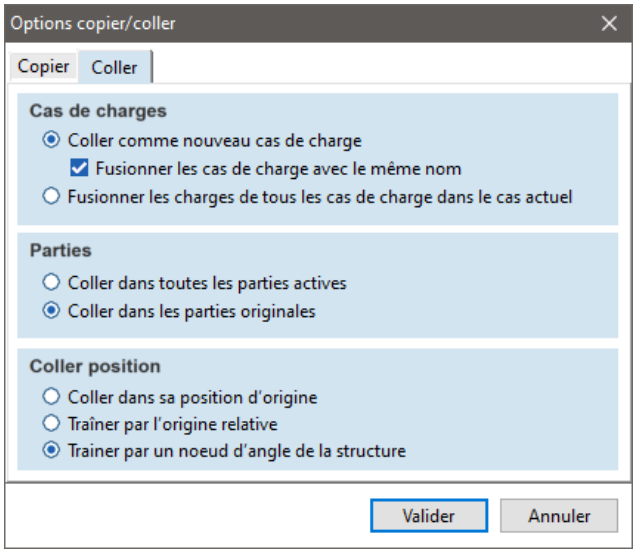


Options de collage

Cas de charge

Le collage des cas de charges peut être contrôlé grâce aux options suivantes:

Coller comme nouveau cas de charge: les cas de charge trouvés dans le Presse-papiers sont copiés comme nouveaux cas de charge. Si l'option *Fusionner les cas de charge avec le même* nom est activée et que le projet comporte des cas de charge portant le même nom que le cas de charge du presse-papiers, ces cas de charge seront fusionnés (les charges du cas de charge du presse-papiers seront ajoutées au cas de charge du projet). Cette option doit être activée lors de la copie dans le projet pour éviter de créer des cas de charge inutiles.



Fusionner les charges de tous les cas de charge dans le cas actuel. Cette option copie toutes les charges de tous les cas de charge du presse-papiers dans le cas de charge actuel du projet.

Parties
Les parties définies par l'utilisateur contenant les éléments sélectionnés sont également copiées dans le presse-papiers. La première option consiste à coller les éléments des parties dans toutes les parties actives du projet. La deuxième option consiste à coller les parties elles-mêmes.

Position de collage
Il existe trois options.
Coller dans sa position d'origine: les éléments collés se placeront dans leur position de coordonnées d'origine.
Traîner par l'origine relative / Traîner par un nœud d'angle de la structure: Si l'une de ces options est sélectionnée, la position du collage peut être définie en cliquant sur le bouton gauche de la souris. Dans le premier cas, la position cliquée deviendra la position de l'origine relative dans le projet source lorsque les éléments ont été copiés. Dans l'autre cas, la position cliquée deviendra la position d'un coin automatiquement identifié de la structure copiée.

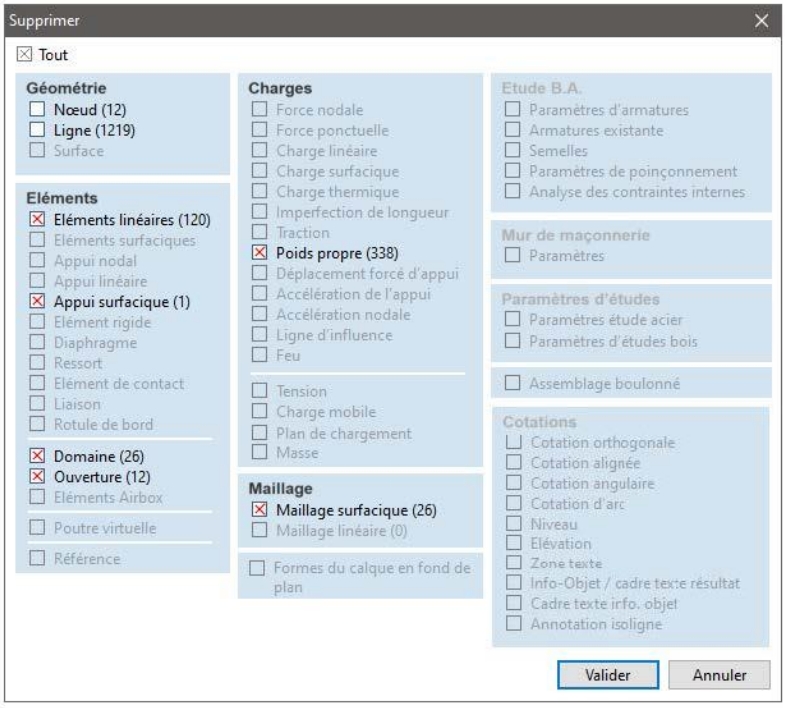
3.2.9. Supprimer


[Suppr]

Supprime les entités sélectionnées. Si aucun élément n'est sélectionné, il fait apparaître la barre d'icônes de sélection, puis la fenêtre de dialogue de suppression.
Permet de supprimer les entités géométriques sélectionnées.
A supprimer:

1. sélectionnez les entités géométriques à supprimer. Vous pouvez les sélectionner en maintenant la touche **[Maj]** enfoncée tout en cliquant sur les entités avec le bouton gauche de la souris ou en utilisant la barre d'icônes de sélection.
2. appuyez sur la touche **[Suppr].** S'il n'y a pas de sélection, la barre d'outils de sélection apparaît et les objets peuvent être sélectionnés pour être supprimés. Voir... *2.16.1. Sélection*.
   Activez les cases à cocher des entités que vous souhaitez supprimer.
   Appuyez sur le bouton **VALIDER** pour terminer et fermer la fenêtre de dialogue.

Dans la fenêtre de dialogue, les cases à cocher sont actives ou inactives selon le contenu du jeu de sélection actuel (destiné à être supprimé).



Géométrie Permet de sélectionner les entités géométriques à supprimer. La suppression des entités géométriques qui ont assigné des éléments finis, entraînera la suppression de ses éléments finis et des charges associées.

Éléments Permet de sélectionner des éléments finis à supprimer. La suppression d'éléments finis ne supprime pas l'entité géométrique correspondante, mais supprime les charges.

Charge/référence Cette commande vous permet de sélectionner les références à supprimer. Tous les éléments finis qui utilisent les références supprimées, ainsi que les charges associées, seront également supprimés.

Maillage Permet de retirer le maillage des domaines.

Etude B.A. Cette commande vous permet de sélectionner les paramètres d'armatures attachés aux éléments sélectionnés pour les supprimer. Les paramètres de semelle sont également supprimés.

Paramètres d'études acier / bois Cette commande vous permet de sélectionner les paramètres d'étude acier / bois attachés aux éléments sélectionnés pour les supprimer.

Cotations Cette commande vous permet de sélectionner les cotations, les zones de texte, etc. à supprimer.

3.2.10. Navigateur de tableau



[F12]

Voir... *2.9 Navigateur de tableau*

3.2.11. Concepteur de rapport



[F10]

Voir... *2.10 Concepteur de rapport*

3.2.12. Sauvegarder dans la bibliothèque des dessins



Ajouter un dessin à Galerie **[F9]**

Vous pouvez sauvegarder les dessins d'AxisVM dans de nombreux contextes différents : vous pouvez sauvegarder les fenêtres principales d'AxisVM, les diagrammes de déplacement et d'efforts internes des poutres, les résultats d'étude acier, les résultats des calculs non linéaires, les diagrammes d'étude des poteaux et poutres en béton armé, les diagrammes des assemblages boulonnés. Dans le cas d'une vue divisée, vous pouvez choisir de sauvegarder toutes les fenêtres ou seulement la fenêtre active.

☞ **La bibliothèque de dessins est un autre moyen de stocker des diagrammes. Alors que les archives contiennent des fichiers d'images statiques, la Bibliothèque de dessins utilise des dessins associatifs suivant les changements de projet.**
Voir... *2.13. Bibliothèque de dessins*

Quel format de fichier à utiliser ?

Les **formats bitmap** *(.BMP, .JPG)* stockent les pixels du diagramme, de sorte que les métafichiers Windows offrent une résolution plus élevée lors de l'impression. Le JPG est un format compressé avec une légère perte de qualité mais ces fichiers sont beaucoup plus petits que les BMP.

Les métafichiers Windows *(.WMF, .EMF)* stockent une série de commandes de dessin afin qu'elles puissent être mises à l'échelle et imprimées dans n'importe quelle taille avec la même qualité. Cependant, si vous choisissez la suppression des lignes cachées ou une vue rendue dessinée par la technologie OpenGL, les métafichiers ne contiendront que des bitmaps.
Pour obtenir un rendu de haute résolution, imprimez directement l'image.

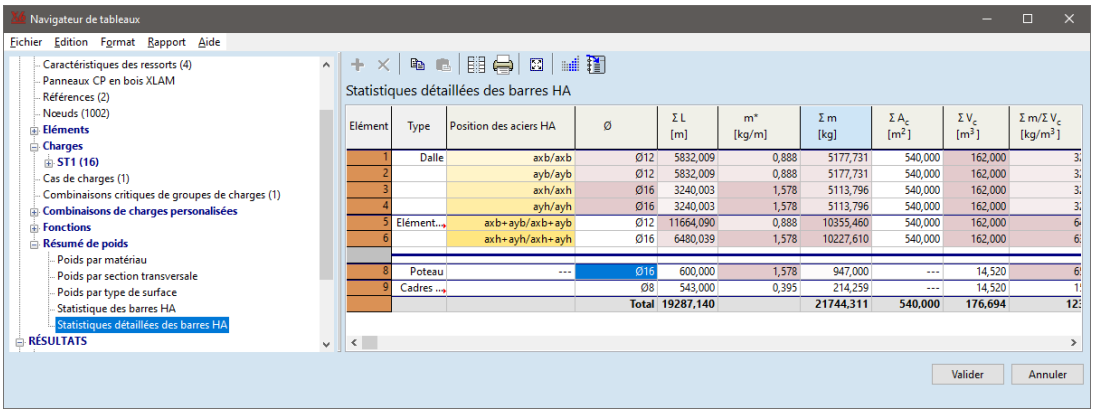
Les dessins seront enregistrés dans un sous-dossier *Images_nomprojet* automatiquement créé sous le dossier du fichier projet. Ces images peuvent être insérées dans un rapport. Ne modifiez pas le nom du sous-dossier *Images_nomprojet*.

3.2.13. Résumé de poids



[F8]

Le poids de l'ensemble du projet, de certains éléments ou de certains détails peut être indiqué dans un tableau par matériau, par section transversale ou par type surfacique. Le *poids par matériau* affiche également le poids des semelles.
Résumé de poids / Poids par section transversale affiche la quantité totale de aciers HA placées dans les éléments surfacique, les poutres et les poteaux.
Des statistiques détaillées sur les barres d'armature ventilent les données sur les barres d'armature par type (dalle, poutre, poteau), par position et par diamètre.



Elément	Type	Position des aciers HA	Ø	Σ L [m]	m' [kg/m]	Σ m [kg]	Σ A_c [m²]	Σ V_c [m³]	Σ m/Σ V_c [kg/m³]
1	Dalle	axb/axb	Ø12	5832,009	0,888	5177,731	540,000	162,000	3
2		ayb/ayb	Ø12	5832,009	0,888	5177,731	540,000	162,000	3
3		axh/axh	Ø16	3240,003	1,578	5113,796	540,000	162,000	3
4		ayh/ayh	Ø16	3240,003	1,578	5113,796	540,000	162,000	3
5	Élément...	axb+ayb/axb+ayb	Ø12	11664,090	0,888	10355,460	540,000	162,000	6
6		axh+ayh/axh+ayh	Ø16	6480,039	1,578	10227,610	540,000	162,000	6
8	Poteau	---	Ø16	600,000	1,578	947,000	---	14,520	6
9	Cadres ...		Ø8	543,000	0,395	214,259	---	14,520	1
			Total	19287,140		21744,311	540,000	176,694	12

3.2.14. Assembler éléments de construction



[Ctrl] F7

AxisVM traite les éléments linéaires comme des éléments de construction. Cela signifie que le *maillage des éléments linéaires* sur l'onglet *Maillage* crée des éléments finis mais que les éléments linéaires eux-mêmes ne sont pas divisés. La commande de menu *Trouver éléments de construction* permet *de* joindre des éléments linéaires adjacents en un seul élément jusqu'à ce qu'un point de rupture soit trouvé. Un point de rupture est défini par différentes directions locales *x* ou *z, par* un matériau différent, par une section transversale ou une excentricité, par une liberté d'extrémité ou par une limite de domaine. Les éléments linéaires doivent se trouver sur la même ligne ou sur le même arc.

3.2.15. Dissocier éléments de construction



[Maj]+ [Ctrl] F7

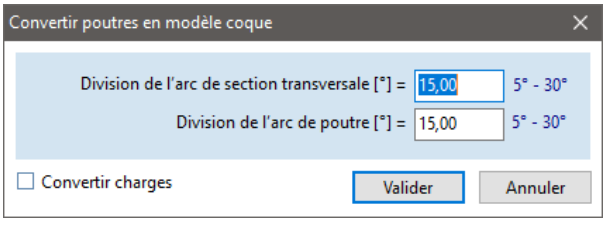
La commande de menu *Dissocier éléments de construction* décompose *les* éléments linéaires créés avec la commande *Assembler les éléments de construction.*

3.2.16. Convertir les charges surfaciques réparties sur les poutres

Cet élément de menu convertit les charges surfaciques sélectionnées, réparties sur les poutres, en charges de poutres individuelles réparties.

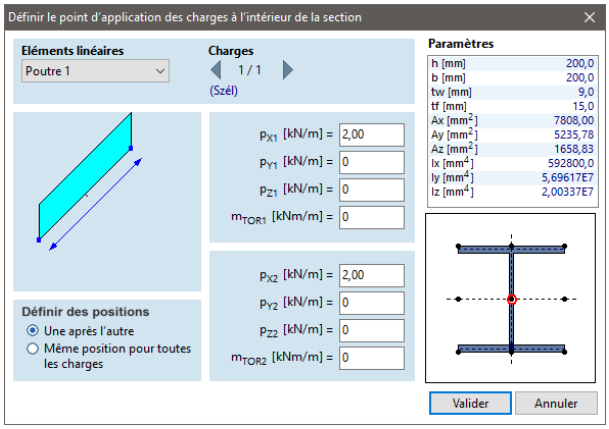
3.2.17. Convertir les poutres en modèle coque

Les poutres sélectionnées peuvent être convertis en projets de coque. Un projet de coque est constitué d'éléments de coque créés et connectés en fonction de la longueur et de la section transversale de la poutre. Les préférences pour la conversion de la section transversale et des arcs de poutre en polygones peuvent être définies dans le dialogue des paramètres.



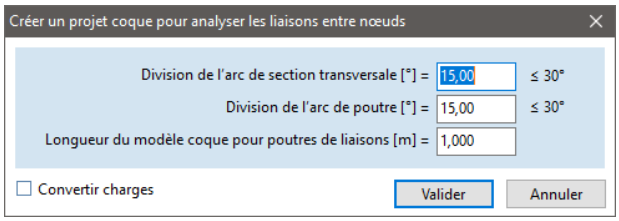
Convertir les charges

Si l'option *Convertir les charges* est sélectionnée, les charges de poutre peuvent être converties en charges de coque. Pour ce faire, l'utilisateur doit spécifier la position de la charge dans la section transversale. N'importe lequel des neuf points du rectangle de délimitation de la section transversale peut être sélectionné, mais il est raisonnable de choisir un point réellement situé sur la section transversale. Les positions peuvent être définies une par une ou en une seule étape pour toutes les charges.
Sélectionnez un élément linéaire dans la liste et choisissez un chargement à convertir. Les valeurs de charge peuvent également être modifiées si nécessaire. Si toutes les charges sont converties, vous pouvez fermer la boîte de dialogue.



3.2.18. Créer un projet de coque pour une connexion nodale

Les parties des poutres se raccordant à des nœuds sélectionnés peuvent être converties en projet de coque. Les paramètres sont les mêmes que ci-dessus, mais la durée de la conversion peut être définie. Le projet de coque est connecté à la partie restante de la poutre par des corps rigides.
La conversion des charges fonctionne de la même manière que celle décrite ci-dessus.



3.2.19. Convertir les charges des plans de chargement sélectionnés en charges individuelles

Les charges générées par l'algorithme de distribution à partir des charges des plans de chargements peuvent être converties en charges individuelles. Après la conversion, elles peuvent être modifiées ou supprimées mais ne peuvent pas être mises à jour à partir du plan de chargement

3.2.20. Convertir les références automatiques

Cet élément de menu convertit les références automatiques attribuées aux éléments linéaires ou surfaciques en vecteurs de référence.

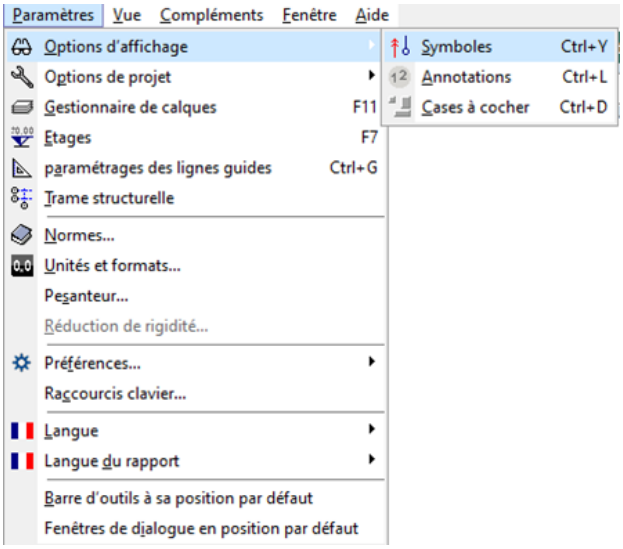
3.2.21. Rendre les nervures paramétriques indépendante

Si le projet contient un domaine nervuré paramétrique ou un domaine nervuré paramétrique composite (voir... *4.9.6.4 Dalles paramétriques nervurées*, *4.9.6.2 Domaine composite nervuré* créé avec des nervures réelles, cette commande convertit le domaine nervuré paramétrique en un domaine normal. Les nervures ne sont pas supprimées mais deviennent indépendantes de la grille paramétrique.

3.3. Paramètres

3.3.1. Options d'affichage





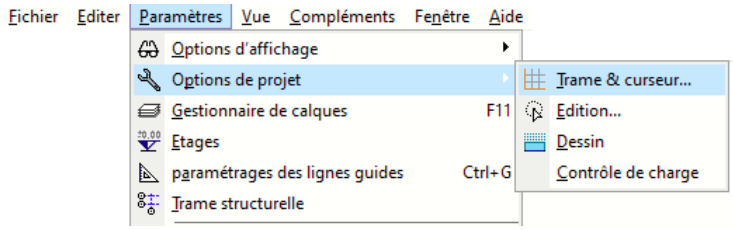
Symboles **[Ctrl+Y]** Voir... *2.16.18 Options d'affichage*

Annotations Voir... *2.16.18 Options d'affichage*

Cases à cochers **[Ctrl+D]** Voir... *2.16.18 Options d'affichage*

3.3.2. Options du projet



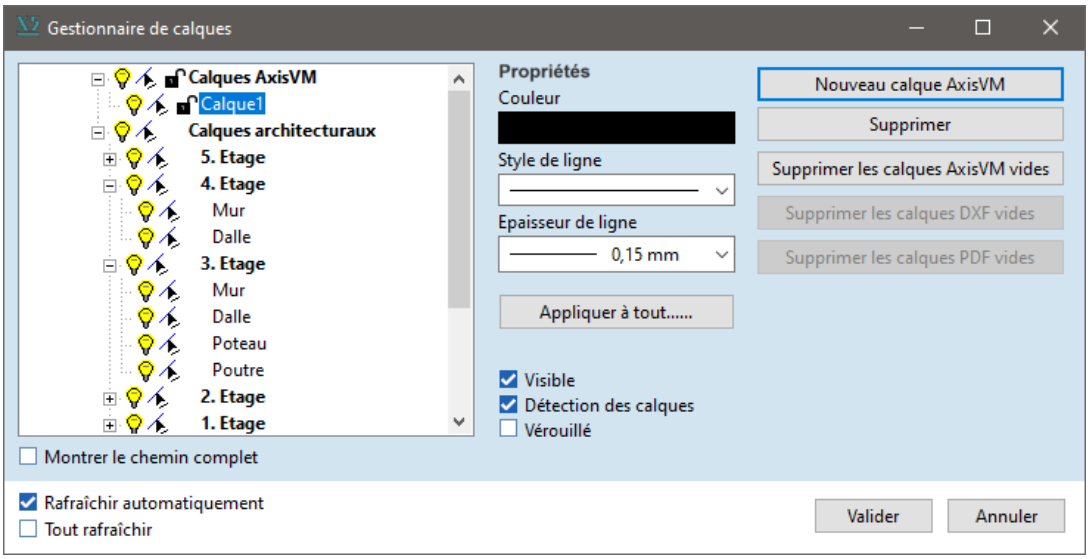


Voir... *2.16.19. Options de modèle*

3.3.3. Gestionnaire de calques



[F11]



Le gestionnaire de calques Cette commande vous permet de gérer les calques AxisVM, les calques DXF importées ou ArchiCAD. Alors qu'une seule calque ArchiCAD peut être importée, plusieurs calques DXF sont autorisées.
Si aucun calque AxisVM n'est définie, AxisVM crée automatiquement un nouveau calque pour les cotations avec le nom *Cotations*.
Sur le côté gauche de la boîte de dialogue du gestionnaire de calques, une vue arborescente des calques disponibles est affichée. Si vous sélectionnez (surlignez) un calque DXF dans l'arbre, vous pouvez modifier ses propriétés dans la partie droite (Nom, Couleur, Style, Taille). Si vous sélectionnez l'entrée principale du fichier DXF dans l'arbre, vous pouvez modifier toutes les calques DXF à la fois. Les propriétés des calques structurelles de AxisVM ne peuvent pas être modifiées.

Appliquer à tous: Lorsque vous utilisez ce bouton, une fenêtre de dialogue Cette commande vous permet de sélectionner les éléments des calques DXF dont les propriétés seront définies en fonction des paramètres du calque.

La visibilité des calques ou des fichiers DXF peut également être réglée en cliquant sur le symbole de l'ampoule ou du curseur à côté du nom du calque ou du fichier.

Nouveau calque AxisVM — Crée un nouveau calque AxisVM. Vous pouvez définir le nom, la couleur, le style linéaire et la largeur du calque.

Supprimer — La touche **[Suppr]** permet de sélectionner et de supprimer plus d'un calque ou d'un groupe.

Supprimer les calques AxisVM vides — Supprime toutes les calques AxisVM qui sont vides (ne contiennent pas d'entités).

Supprimer les calques DXF vides — Supprime toutes les calques DXF importées qui sont vides (ne contiennent pas d'entités).

Supprimer les calques PDF vides — Supprime tous les calques PDF importés qui sont vides (ne contiennent pas d'entités).

Appliquer à tout... — Applique les propriétés du calque sélectionnée (couleur, style linéaire et largeur) à tous les objets du calque.

Visible — Définit la visibilité du calque.

Cela équivaut à cliquer sur l'icône de l'ampoule.

Détection des calques — Si elle est activée, la souris détectera les objets sous-jacents du calque.

Cela équivaut à cliquer sur l'icône en forme de flèche.

Verrouillé — Les calques verrouillés ne peuvent pas être éditées.

Cela équivaut à cliquer sur l'icône du cadenas.

Afficher le chemin complet — Si activé, l'arborescence affichera les noms des fichiers importés avec leur chemin d'accès complet.

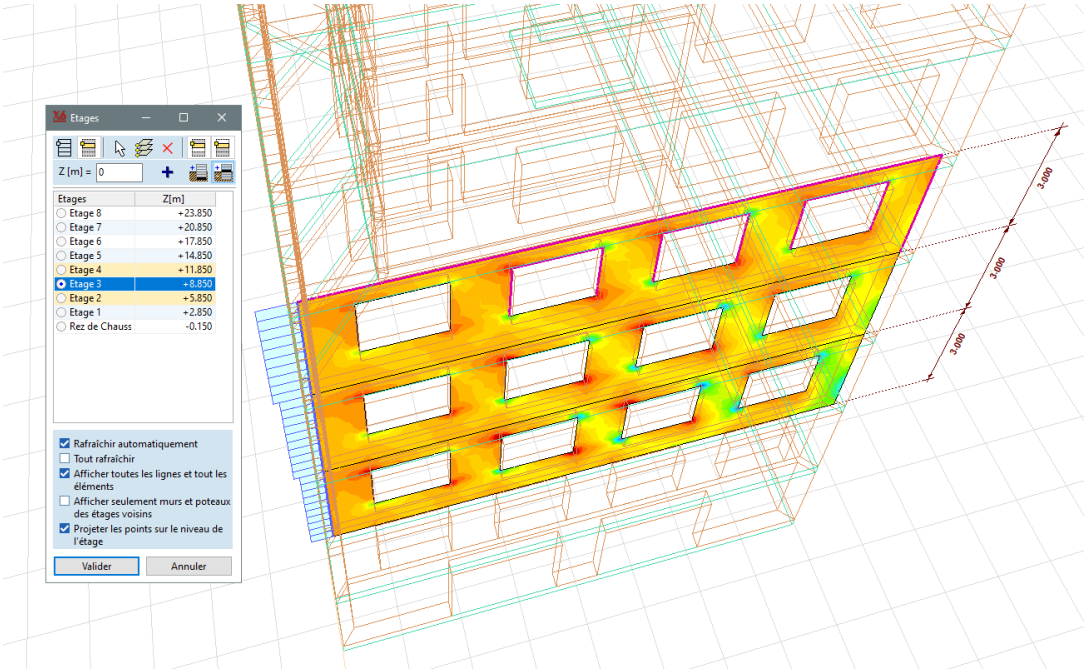
Rafraîchir automatiquement — Si activé, la modification des propriétés des calques ou de leur visibilité met immédiatement à jour la fenêtre principale.

Tout rafraîchir — Si activé, toutes les vues de la fenêtre principale reflètent les changements, sinon seule la vue active est affectée.

3.3.4. Etages



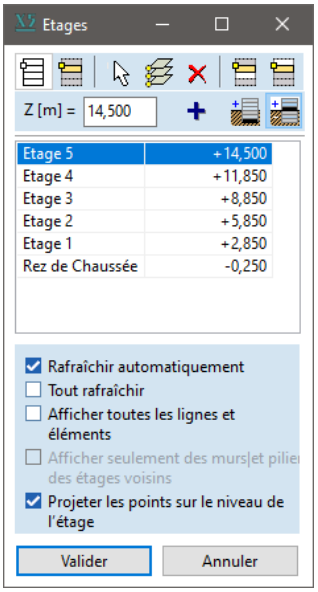
[F7]



Les étages sont là pour faciliter la vue d'ensemble et modifier du projet. Ils peuvent être définies avant de dessiner le projet ou affectés à une structure existante.
Un étage est un plan de travail parallèle au plan global X-Y, avec une position Z donnée. Si un étage est sélectionné, les mouvements de la souris seront projetés sur le plan de l'étage même si vous trouvez un élément à une position Z différente. Les coordonnées seront toujours projetées sur le plan de l'étage afin de faciliter le traçage des objets à différents niveaux.
Les étages sont toujours listés par position Z décroissante, ayant des noms automatiques. Le changement de la langue du rapport entraîne le changement de noms des étages.
Les éléments sont considérés comme faisant partie d'un étage si leur coordonnée Z la plus basse est supérieure ou égale au niveau de l'étage mais inférieure au niveau l'étage suivant. Par conséquent, si un poteau ou un mur à plusieurs étages a été défini comme un élément unique, il n'apparaîtra qu'au niveau le plus bas. Pour modifier ce comportement, l'élément doit être coupé avec des plans d'étage.
Les nouveaux éléments seront automatiquement liés à leur étage.

☞ **Les étages sont des parties logiques créées du projet à des fins d'édition et elles n'affectent pas les résultats de l'analyse.**
Si les effets de torsion doivent être pris en compte dans l'analyse sismique, les étages sismiques doivent être définies séparément dans le dialogue des paramètres sismiques.

Les étages peuvent être gérées dans le dialogue suivant.



Désactiver les étages



Si ce bouton est enfoncé, aucun étage n'est affiché. Les fenêtres afficheront la structure entière ou les parties actives. Les étages peuvent être ajoutés ou supprimés dans cet état également.

Afficher l'étage courant



Si ce bouton est enfoncé et qu'un étage actif est choisi, l'étage actif sera affiché. L'étage actif peut être choisi en cliquant sur le bouton radio précédant son nom.
Le statut de sélection des éléments de la liste est indépendant de ce choix. Il est possible de sélectionner plusieurs étages. Ctrl+clic ajoute des éléments de liste individuels à la sélection, [Maj]+clic ajoute des plages à la sélection. L'opération de suppression fonctionne sur les étages sélectionnés et non sur l'étage actif.
L'étage actif est en jaune. Si un étage voisin est également activé pour faciliter le repérage d'objets sur cet étage, il apparaît en jaune clair.

☞ **Il ne peut y avoir qu'un seul étage actif. Cependant, l'affichage d'étages voisins est également possible. Le montage sera limité à l'étage actif.**

Prendre



Cliquez sur cette icône pour revenir au projet et cliquez sur un ou plusieurs nœuds pour récupérer les coordonnées Z. Fermez le processus en cliquant sur une zone vide. Les coordonnées Z seront ajoutées à la liste des étages.

Entrez une nouvel étage

Entrez la coordonnée Z dans le champ d'édition et cliquez sur le bouton +. Un nouvel étage sera ajouté à la liste.

Trouver



Si vous avez une structure existante à plusieurs étages avec des dalles, vous pouvez trouver et ajouter les coordonnées Z des domaines horizontaux à la liste en un seul clic. Si tous les domaines horizontaux ne se réfèrent pas à un étage réel, vous pouvez supprimer les étages inutiles plus tard.

☞ **La position de l'étage ne peut être modifié. Supprimez l'étage et définissez-en un nouveau.**

Supprimer



Supprime les étages sélectionnés. Les étages restants seront renommés et les attributions des éléments seront automatiquement mises à jour.

☞ **La suppression d'un étage ne supprime aucun élément.**

Afficher l'étage en dessous de l'étage actuelle



Afficher l'étage au-dessus de l'étage actuelle



Si l'un de ces boutons se trouve en bas des éléments de l'étage en bas/en haut, l'étage actif est également affiché pour aider à tracer d'autres objets.

Si ce bouton est activé, les éléments de l'étage au-dessus (ou au-dessous) de l'étage actif s'affichent également pour faciliter la recherche d'autres objets.

☞ **Pour afficher d'autres étages, ouvrez plutôt la boîte de dialogue des parties où vous pouvez activer les parties logiques de n'importe quel étage. Le choix d'un nouvel étage actif a priorité sur les paramètres des parties.**



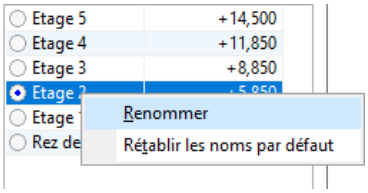
Définir un nouvel étage

Numérotation des étages



La numérotation des étages peut être contrôlée à l'aide de ces boutons. Si celui de gauche est en *bas* (*numérotation des étages à partir du bas*), l'étage le plus bas sera considéré comme rez-de-chaussée et les autres étages auront un nombre positif. Si la *numérotation avec signe des étages* est sélectionnée, l'étage le plus proche du niveau zéro sera le rez-de-chaussée. Les étages du sous-sol auront un nombre négatif, les autres auront un nombre positif.

Renommer les étages



Cliquez avec le bouton droit de la souris sur un élément de la liste pour accéder au menu contextuel. Les étages peuvent être renommés ou leur nom par défaut restauré.

Plusieurs autres options peuvent être sélectionnées à l'aide des cases à cocher.

Rafraîchissement automatique Le dessin sera instantanément mis à jour.

Tout rafraîchir Les paramètres de l'étage seront appliqués sur toutes les fenêtres.

Afficher toutes les lignes et tous les éléments Si un étage est activé, toutes les dalles, murs, poteaux et poutres associés à l'étage seront affichés automatiquement. Si d'autres éléments (lignes géométriques, ressorts, éléments d'espace ou de liaison) de l'étage doivent également être vus, cochez cette option.

Afficher seulement murs et piliers des étages voisins L'étage au-dessus/en dessous de l'étage actif est généralement affiché pour trouver les murs et les poteaux d'appui. Cette option permet de cacher les dalles et les poutres de l'étage voisin.

Si un étage est activé, le dessin direct d'une colonne ou d'un mur commence automatiquement avec la hauteur de l'étage.

Projeter les points sur le niveau de l'étage Cette fonction consiste à projeter toutes les coordonnées détectées au niveau de référence de l'étage. Elle est utile lorsque les positions des murs et des poteaux sous la dalle doivent être transférées au niveau du sol.

3.3.5. Lignes guides



[Ctrl+G]

Lignes guides
Voir... *2.16.19. Options de modèle*

3.3.6. Trame structurelle



[[Maj]+G]

Trame structurelle
Voir... *2.16.19. Options de modèle*

3.3.7. Normes

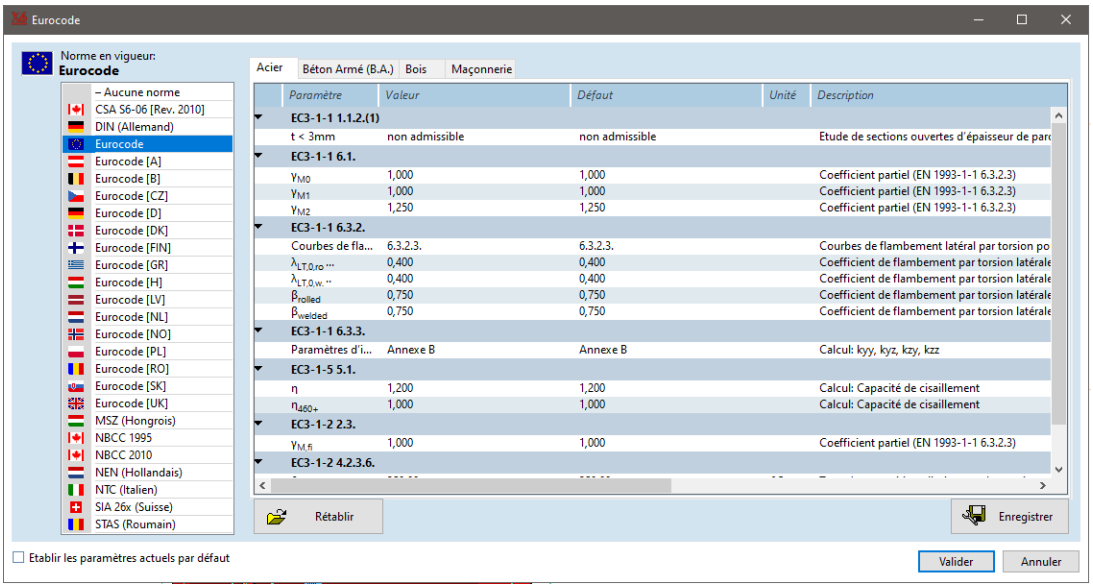


Définit le code d'étude à utiliser en cas de tâches spécifiques au code. La modification du code d'étude change la méthode de calcul des combinaisons de charges critiques et par conséquent tous les paramètres des groupes de charges, mais des facteurs partiels, seront supprimés. Les paramètres d'analyse sismique et les cas de charges sismiques seront également supprimés. Comme les propriétés des matériaux et certains paramètres d'armatures ne sont pas les mêmes dans les différents codes, il est recommandé de réviser les valeurs que vous avez spécifiées.
Si la case *Etablir les paramètres actuels par défaut* est cochée, de nouveaux projets seront créés avec le code d'étude actuel.

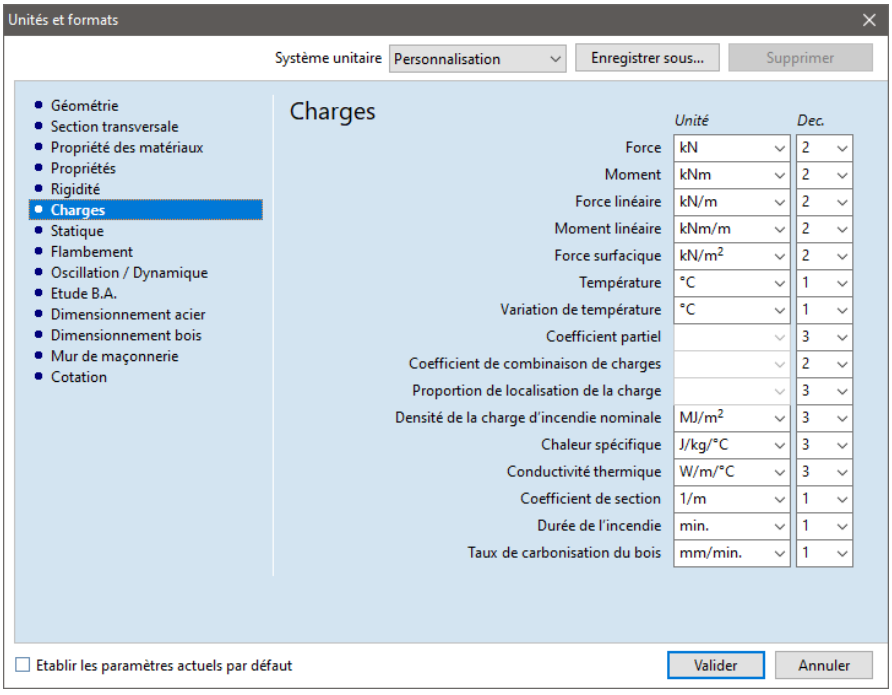
Dans le cas des norme basés sur l'Eurocode, un certain nombre de paramètres prescrits dans les Annexes nationales (AN) peuvent être modifiés dans AxisVM. L'étude de structures selon des AN non incluses dans le logiciel peut être effectuée par la modification des paramètres des AN de l'Eurocode de base.
Le tableau affiche la valeur utilisateur, la valeur par défaut, l'unité, la description et la référence du code pour chaque paramètre. Les valeurs utilisateur sont modifiables. Cliquez sur VALIDER, pour les appliquer. L'ensemble actuel des valeurs utilisateur sera sauvegardé/chargé avec le projet.
La modification du code d'étude entraîne la perte de l'ensemble actuel de valeurs utilisateur, à moins qu'il n'ait été enregistré comme ensemble de valeurs utilisateur par défaut en cliquant sur le bouton "*Enregistrer*". *Les* nouveaux projets utiliseront ces valeurs par défaut. La colonne *Défaut du* tableau affiche la valeur telle que spécifiée dans l'AN. En cliquant sur le bouton *Rétablir,* toutes les valeurs utilisateur sont remplacées par les valeurs par défaut de l'AN.

Selon les règles et réglementations des AN, les paramètres peuvent être classés en trois groupes:

- le paramètre est donné par un nombre (par exemple, les facteurs partiels): la valeur peut être éditée directement ;
- le paramètre est donné par une formule ; dans la plupart des cas, les constantes de la formule sont spécifiées dans l'AN (par exemple, limite d'élancement pour les poteaux B.A.): dans ce cas, les constantes peuvent être éditées (remarque: les constantes sont souvent représentées par la lettre c) ;
- le paramètre n'est donné ni par un nombre ni par une formule ; (par exemple, méthode de calcul des excentricités de second ordre pour les poteaux B.A., courbes de flambement pour les Flambements Latéraux par Torsion (FLT) des poutres en acier): dans ce cas, la méthode ou les courbes de flambement peuvent être sélectionnées dans une liste déroulante.



3.3.8. Unités et formats

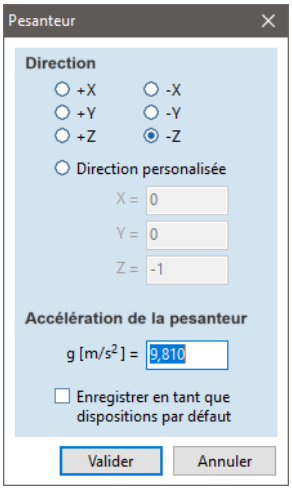


Permet de configurer les unités (SI et/ou Impérial) et les formats des variables utilisées dans le programme (nombre de décimales utilisées pour l'affichage ou format exponentiel). Vous pouvez utiliser des ensembles prédéfinis comme l'ensemble SI, ou créer et sauvegarder vos propres ensembles personnalisés.

Stockage des paramètres unités

Le logiciel stocke les unités et formats définis dans le fichier de données *Axunits.ini* qui se trouve dans le dossier *c:\Users\'username'\AppData\Roaming\AxisVM\15*.

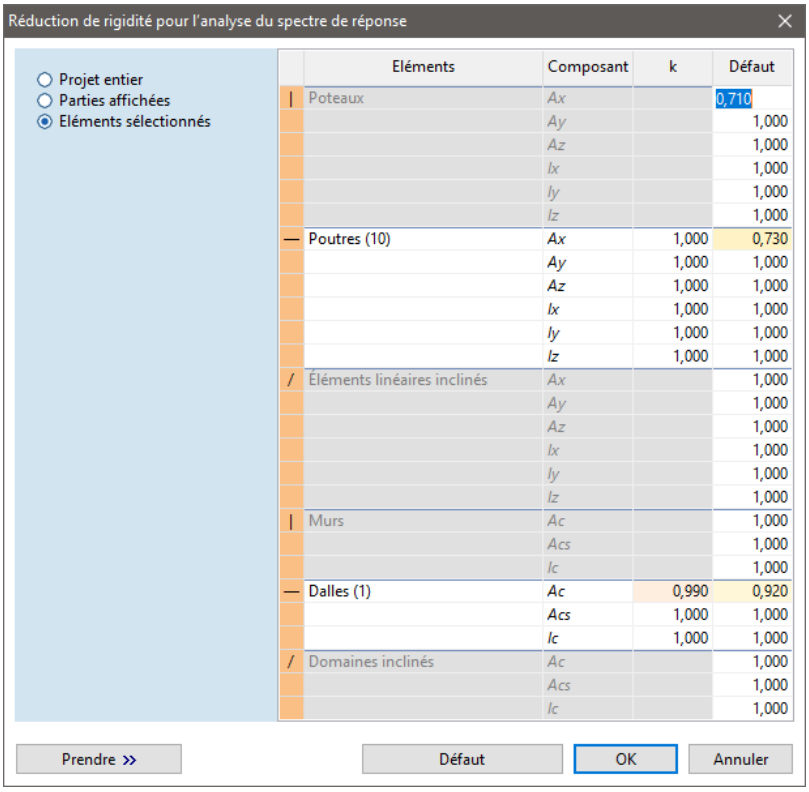
3.3.9. Pesanteur



Cette commande vous permet de définir la constante d'accélération gravitationnelle et la direction de la gravité comme l'une des directions de coordonnées globales ou une direction personnalisée.
Si la *direction personnalisée* est sélectionnée, les composantes X, Y, Z du vecteur directionnel dans le système de coordonnées global doivent être spécifiées.
Si la case *Enregistrer en tant que dispositions par défaut* est cochée, tout nouveau projet commencera avec la valeur saisie de l'accélération gravitationnelle.

3.3.10. Réduction de la rigidité

L'analyse sismique basée sur l'analyse du spectre de réponse selon l'Eurocode permet d'utiliser des facteurs de réduction de la rigidité *(k)*. Ces facteurs de réduction peuvent être définis pour chaque élément de structure indépendamment en fonction de son type d'élément architectural (poteau, poutre, mur, dalle, autre élément).
Les boutons radio à gauche permettent de choisir la plage de définition *(Projet entier / Parties affichées / Éléments sélectionnés)*. Les facteurs de réduction pour ces éléments sont énumérés et peuvent être modifiés dans le tableau. Si des éléments de même type ont des facteurs de réduction différents, un * est affiché dans la cellule correspondante. En le modifiant, on attribue une valeur commune à la gamme d'éléments spécifiée.



Éléments linéaires

k(Ax) Facteur de réduction pour *Ax de la* section transversale.
k(Ay) Facteur de réduction pour *Ay de la* section transversale.
k(Az) Facteur de réduction pour *Az de la* section transversale.
k(Ix) Facteur de réduction pour *Ix de* la section transversale.
k(Iy) Facteur de réduction pour *Iy de la* section transversale.
k(Iz) Facteur de réduction pour *Iz de la* section transversale.

Domaines

k(Ac) Facteur de réduction de la section transversale
k(Acs) Facteur de réduction de la section transversale de cisaillement
k(Ic) Facteur de réduction de l'inertie de flexion de la section transversale

Ramasser

Cliquez sur le bouton Ramasser puis sur un élément pour copier ses valeurs *k dans* les lignes respectives du tableau en fonction du type d'architecture de l'élément.

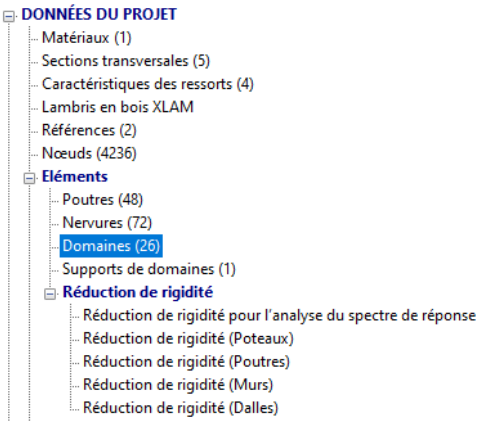
Par défaut

La dernière colonne affiche les valeurs de réduction de la rigidité par défaut pour chaque type d'élément (ces valeurs sont également modifiables). Si de nouveaux éléments sont définis, ces valeurs par défaut leur seront automatiquement attribuées. Cliquez sur le bouton *Défaut en* bas de page pour définir toutes les *k* valeurs par défaut.

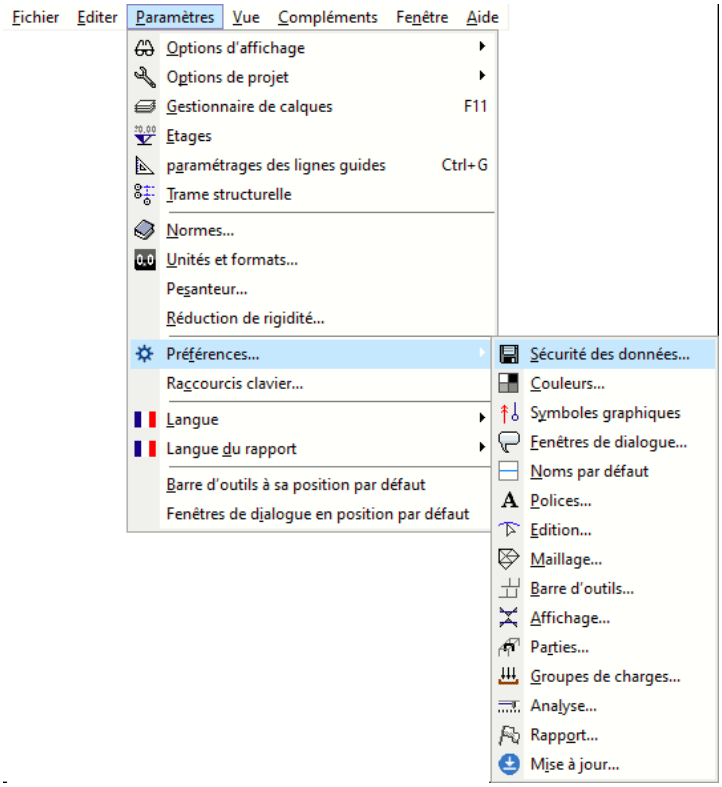
La réduction de la rigidité est facultative dans une analyse des vibrations (*5.2 Vibration*). Si l'analyse des vibrations a été effectuée avec une réduction de la rigidité et que l'analyse du spectre de réponse a utilisé ces formes modales, AxisVM effectue deux analyses linéaires : une sans réduction de la rigidité et une avec réduction de la rigidité. Dans les situations de conception sismique (dans les cas de charge sismique ou dans les combinaisons incluant des cas de charge sismique), les résultats obtenus avec une rigidité réduite seront affichés, dans les autres situations, les résultats sans réduction de rigidité seront utilisés. *(4.10.24 Charges sismiques - module SE1)*

Rapport sur la réduction de la rigidité

Les valeurs de réduction de la rigidité sont disponibles dans le navigateur de tableaux (voir... *2.9 Navigateur de tableau*) dans les tableaux du dossier *MODEL DATA / Eléments / Réduction de la rigidité*.
La réduction de la rigidité pour l'analyse du spectre de réponse contient le tableau ci-dessus. D'autres tableaux énumèrent les valeurs de réduction de la rigidité par éléments.

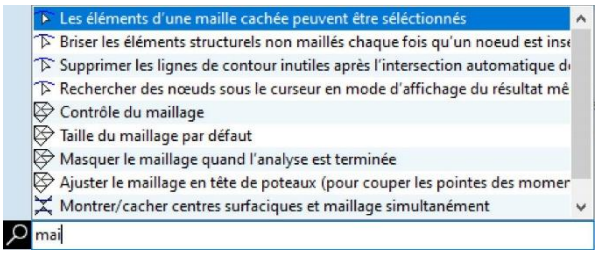


3.3.11. Paramètres



Recherche

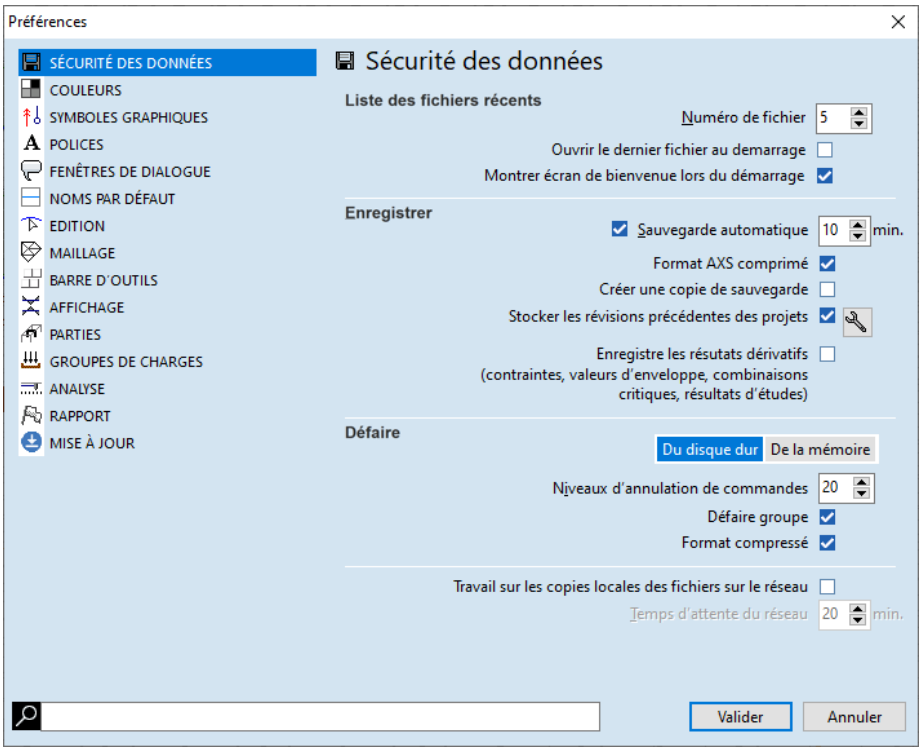
Les paramètres peuvent être trouvés plus facilement en utilisant le champ de recherche en bas à gauche de la boîte de dialogue.
Il fonctionne comme la ligne de commande intelligente (voir... *2.17 Ligne de commande intelligente*), où ces correspondances apparaissent également.



Stockage des paramètres des préférences

Le logiciel stocke les paramètres décrits ci-dessous dans les fichiers de données sous *c:\Users\'username'\ApData\Roaming\AxisVM\16* folder.

3.3.11.1. Sécurité des Données



Liste des dossiers récents

Cette commande vous permet de définir le nombre de fichiers projets AxisVM récemment ouverts, listés en bas du menu Fichier, et de définir si vous souhaitez que le dernier fichier modifié soit ouvert au démarrage. L'écran d'accueil (Voir... *2.2. Protection et installation*) sera affiché au démarrage si la case *Afficher l'écran de bienvenue au démarrage* est cochée.

Sauvegarder

Pour vous assurer de ne pas perdre votre travail, cochez l'option *Sauvegarde automatique*. Dans la case *min.*, entrez l'intervalle auquel vous souhaitez enregistrer automatiquement le projet ouvert (1-99 minutes). Vous devez encore sauvegarder le projet lorsque vous quittez. Un projet qui est sauvegardé automatiquement est stocké dans le dossier temporaire par défaut du système d'exploitation (par défaut, il s'agit de `C:\Users\nomutilisateur\AppData\Local\ Temp\`) sous le nom de `projet ~modelname.avm` jusqu'à ce que vous exécutiez une commande de sauvegarde. Lorsque vous devez redémarrer AxisVM après une coupure de courant ou en raison de tout autre problème survenu avant la sauvegarde de votre travail, AxisVM peut le récupérer à partir du fichier temporaire stocké dans le dossier ci-dessus sous le nom `$modelname.avm`.

Format AXS compressé
Si cette case est cochée, le fichier de projet AXS sera enregistré dans un format compressé. La taille moyenne du fichier compressé est d'environ 10 % de la taille originale. Plus le fichier projet est volumineux, plus la compression est efficace. Les fichiers résultats (*.AXE) ne sont pas compressés.

Créer une copie de sauvegarde
Si cette case est cochée et qu'un projet est enregistré après avoir effectué des modifications, une copie de sauvegarde est automatiquement créée à partir de l'état précédent du fichier axs. Le nom du fichier de sauvegarde est `modelname.~AX`.

Stocker les précédentes révisions du projet
Si cette option est cochée, les révisions ultérieures du projet sont enregistrées.



Cliquez sur l'icône pour accéder à la boîte de dialogue des paramètres
Voir aussi... *3.1.2. Précédentes révisions...*

Sauvegarder les résultats dérivés
Si cette case est cochée, les contraintes, les enveloppes, les combinaisons critiques et les résultats d'étude seront également enregistrés.

Annuler

L'état précédent du projet peut être récupéré *sur le disque dur* ou en *mémoire*. Si vous travaillez sur de grands projets et/ou si votre ordinateur est pauvre en mémoire, il est recommandé d'utiliser la première option (qui est un peu plus lente).
Vous pouvez défaire vos dernières actions. Vous devez préciser le nombre maximum d'actions que vous souhaitez annuler. Ce nombre doit être compris entre 1 et 99.
L'option *Annuler groupe* Cette commande vous permet d'annuler les effets de commandes complexes en une seule étape. Les données d'annulation peuvent être stockées en mémoire ou sur le disque dur. La première option est plus rapide, la seconde laisse plus de mémoire au programme (ce qui peut être important si un énorme projet est calculé).

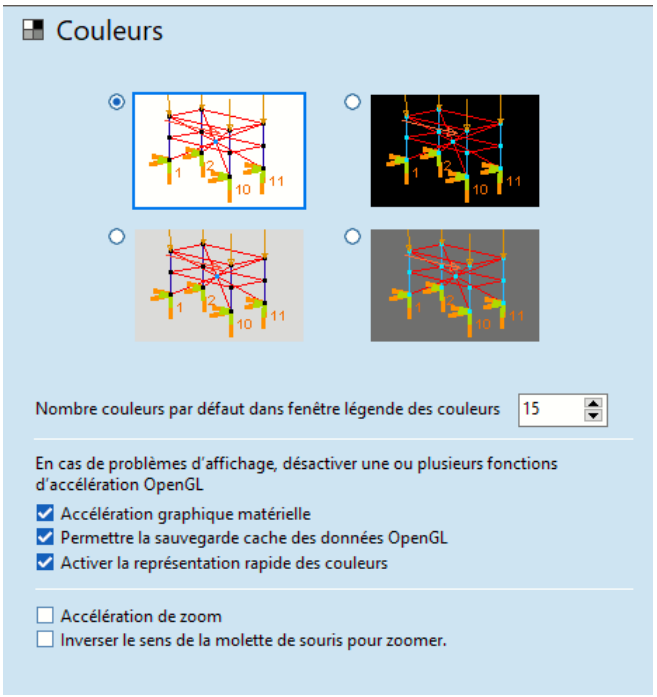
Travailler sur les copies locales des fichiers en réseau

Si les projets sont ouverts via un réseau, la vitesse de transfert des données peut réduire les performances d'AxisVM. Cet effet peut être éliminé en permettant de faire des copies locales des fichiers du réseau. Les copies locales seront placées dans le dossier où les fichiers temporaires sont stockés pendant l'analyse - sauf lorsque ce dossier est défini comme le dossier du projet. Dans ce cas, les fichiers sont enregistrés dans le dossier par défaut pour les fichiers temporaires. Les fichiers originaux seront mis à jour à chaque opération de sauvegarde.

Temps d'attente du réseau

Dans le cas de clés de protection matériel hors réseau, si dans une période définie ici, il n'y a pas d'activité (vérifications) avec la clé, la session AxisVM actuelle est fermée.
La déconnexion peut également se produire dans une situation où vous recevez un appel téléphonique et où vous n'utilisez pas le programme pendant une durée supérieure au délai d'attente du réseau. Si un autre utilisateur demande l'accès à la clé, le serveur lui donne une licence et lorsque vous essayez de poursuivre votre travail, le programme affiche un message d'erreur et s'arrête à la prochaine vérification de la clé.

3.3.11.2. Couleurs



Permet de sélectionner la couleur de fond de la zone graphique (noir, gris foncé, gris clair ou blanc). Les annotations, les chiffres, les symboles et les éléments changent automatiquement de couleur pour rester visibles

Nombre de couleurs par défaut dans la fenêtre de légende des couleurs: Définissez le nombre de couleurs affichées dans la fenêtre de légende des couleurs. Voir... *2.19.4. Fenêtre de légende des couleurs*)

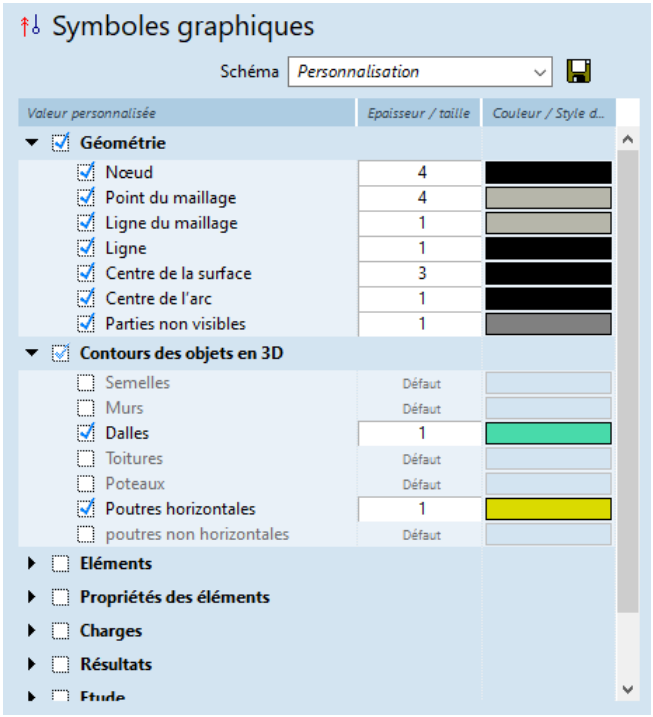
Paramètres OpenGL

Activer l'*accélération graphique matérielle*, *permettra la mise en cache des données OpenGL* et activer la *coloration rapide* pour une rotation plus rapide et plus fluide du projet - si la carte vidéo et le pilote le prennent en charge. Les résultats dépendent fortement des détails de configuration du système d'exploitation, du pilote et de la carte graphique, de sorte que parfois la rotation de tous ou de certains de ces paramètres peut améliorer les performances.

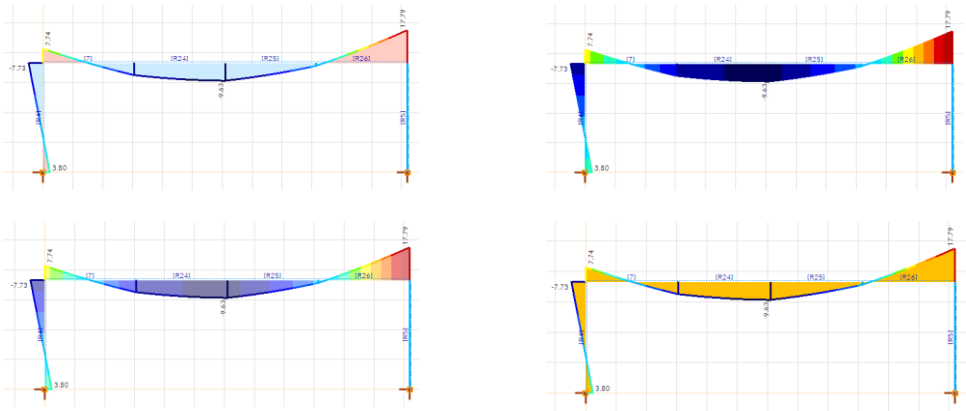
L'accélération du zoom masque les annotations et autres éléments non mis à l'échelle pendant le zoom.

Inversez le sens de la molette de la souris pour zoomer. Si elle n'est pas cochée, la molette de la souris a le comportement par défaut: tourner la molette vers le haut permet de zoomer (+) , tourner la molette vers le bas permet de zoomer (-) . Si elle est cochée, ces fonctions seront inversées.

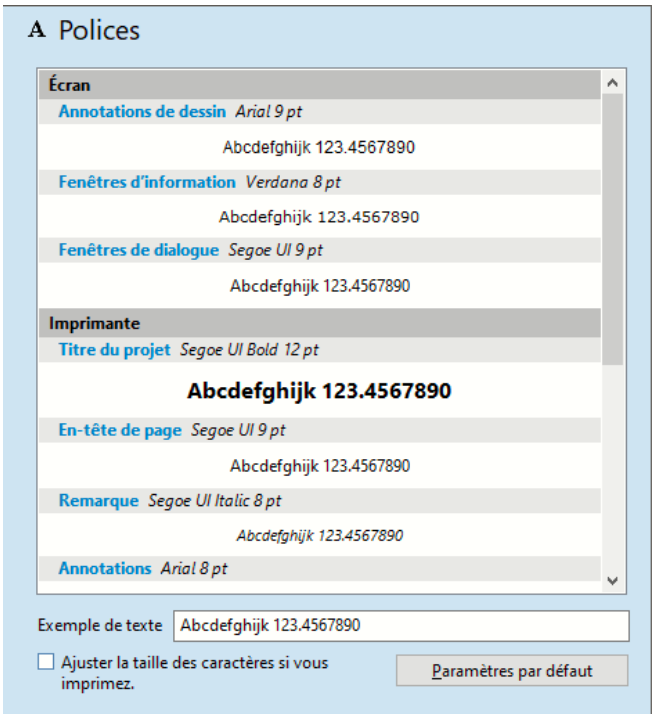
3.3.11.3. Symboles graphiques



La couleur et l'épaisseur du trait des symboles graphiques, la couleur et la taille des étiquettes peuvent être personnalisées. La couleur et l'épaisseur des axes excentriques des poutres et des nervures peuvent être définies.
Si la case à cocher dans la colonne *Valeur personnalisée n'est* pas cochée, le symbole est mis par défaut. Si elle est cochée, cliquez sur la valeur *Épaisseur / taille* ou sur le rectangle *Couleur* pour modifier les valeurs. Les nouveaux paramètres peuvent être enregistrés dans un schéma en cliquant sur l'icône *Enregistrer*. Les schémas peuvent être chargés en les sélectionnant dans la liste déroulante.
À partir de la version X4, les couleurs et la largeur linéaire des axes du système local, les diagrammes de résultats et l'armature appliqué peuvent également être modifiés.



3.3.11.4. Polices de caractères



Cette liste permet de changer les polices utilisées à l'écran et dans les documents imprimés. Déplacez-vous dans la liste avec les touches du curseur ou en cliquant sur les éléments. Double-cliquez sur la ligne sélectionnée ou appuyez sur la touche *Entrée* pour modifier la police.
Pour modifier l'échantillon, modifiez l'échantillon de *texte*.
Cliquez avec le bouton droit de la souris sur un élément pour afficher le menu contextuel.

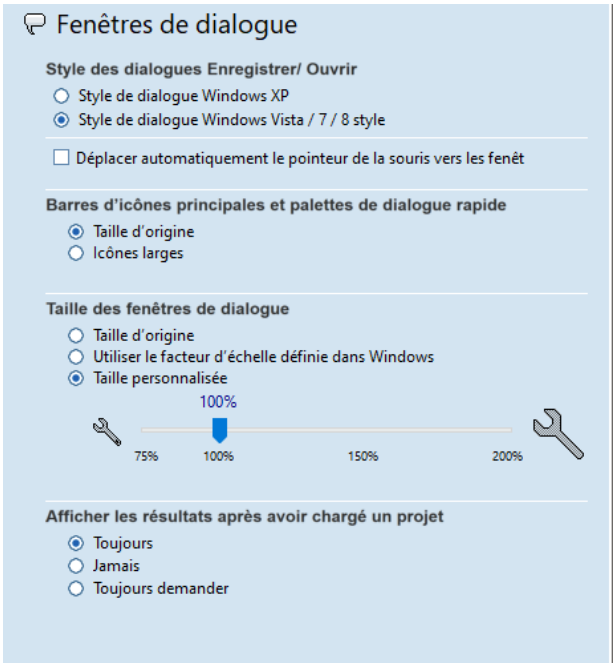
Modifiez...: changez la police de caractères.
Police par défaut: réinitialiser la police sélectionnée à sa valeur par défaut.

Cliquez sur *Paramètres par défaut* pour réinitialiser toutes les polices à leur valeur par défaut.

Écran	*Dessin des annotations*	Police utilisée pour la numérotation et l'étiquetage des dessins du projets. Les lignes de cotation et les zones de texte ont leur propre police, voir... *2.16.11. Cotations, symboles et annotations.*
	Fenêtres d'information	Police utilisée pour les fenêtres d'information à l'écran (fenêtre de légende des couleurs, fenêtre d'information, fenêtre de coordonnées), voir... *2.19 Fenêtres d'information*
	Fenêtres de dialogue	Police utilisée pour les dialogues.
Imprimante	*Titre du projet* *En-tête de page* *Commentaire*	Polices utilisées pour l'en-tête de la page imprimée. Voir... *3.1.10. En-tête de page*
	Etiquettes	Police utilisée pour la numérotation et l'étiquetage des dessins de projets imprimés. Les lignes de nervures et les zones de texte ont leur propre police.
	Fenêtres d'information	Police utilisée pour les fenêtres d'information (fenêtre de légende des couleurs, fenêtre d'information) lorsqu'elles sont imprimées sur des dessins.
Rapport	*Titre du tableau*	Police utilisée pour les titres des tableaux imprimés.
	Ligne d'en-tête du tableau	Police utilisée pour la première ligne (en-tête) des tableaux.
	Lignes du tableau	Police utilisée pour le reste du tableau.

En raison de la différence de résolution de l'écran et de l'imprimante, le rapport entre la taille et le dessin des annotations est différent sur les deux appareils, en particulier dans le cas des zones de texte. Cochez / décochez *Ajustez la taille de la police lors de l'impression* si vous n'êtes pas satisfait du résultat.

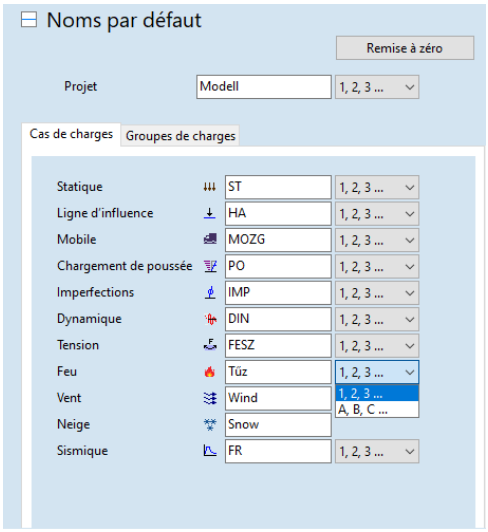
3.3.11.5. Fenêtres de dialogues

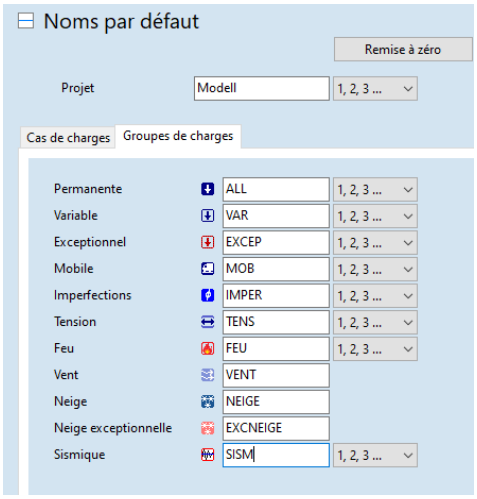


Si le système d'exploitation est Vista ou plus récent, vous pouvez définir le *style de sauvegarde/ouverture des dialogues* utilisé dans AxisVM. Sous Windows XP, seule la première option est disponible.
Si la deuxième option est choisie, la prévisualisation des fichiers AxisVM nécessite l'enregistrement d'une bibliothèque de prévisualisation (cette DLL fait partie du paquet AxisVM). L'installation d'AxisVM avec des droits d'administration enregistre automatiquement cette bibliothèque. Sans droits administratifs, cet enregistrement échoue, rendant l'aperçu indisponible. Le fichier de la bibliothèque de prévisualisation peut être enregistré ultérieurement en exécutant `!REGISTER_PreviewLib.BAT` dans le dossier du programme AxisVM.
Déplacer le pointeur de la souris automatiquement vers les fenêtres de dialogue positionne le pointeur de la souris sur le bouton VALIDER des fenêtres de dialogue. Certains pilotes de souris offrent cette fonctionnalité sans utiliser cette option.

Lorsque vous travaillez sur des moniteurs à haute résolution, il est recommandé d'agrandir les barres d'outils, les palettes, les fenêtres de dialogue et les curseurs. Les barres d'*outils principales et les palettes de dialogue rapides* offrent deux tailles pour les boutons des barres d'outils. Le choix des *icônes de grande taille permet* également d'augmenter l'échelle de certains curseurs. La taille des fenêtres de dialogue permet d'échelonner les dialogues entre 75 et 200%. Les paramètres des fenêtres définis dans le *Panneau de configuration / Affichage* peuvent également être appliqués.
L'ouverture de grands projets avec un énorme fichier de résultats peut ralentir considérablement le chargement. L'option *Afficher les résultats après le chargement d'un projet* contrôle ce qui se passe lorsqu'un projet avec des résultats a été ouvert. Les résultats seront affichés *Toujours / Jamais / Toujours demander* (un dialogue est affiché pour confirmer l'affichage des résultats).

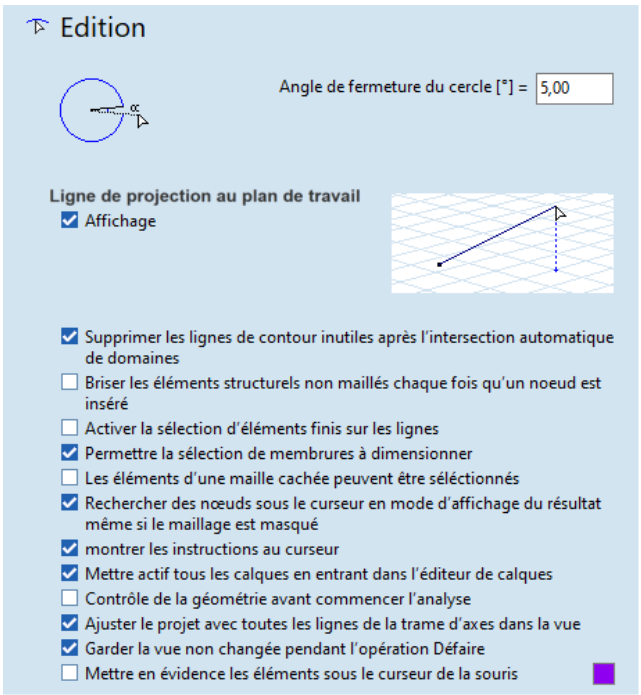
3.3.11.6. Noms par défaut





Changer de *projet* pour modifier le nom par défaut d'un nouveau projet. Sélectionnez le style du postfixe (1, 2, 3 ... ou A, B, C, ...) joint pour générer un nom unique.
Les noms et les styles par défaut des nouveaux cas de charge ou groupes de charge peuvent être édités de la même manière.
Cliquer sur *Reset* réinitialise tous les noms et styles à leurs valeurs par défaut.

3.3.11.7. Edition



Angle de fermeture du cercle
Paramètre de dessin des arcs. Si l'angle central de l'arc est inférieur à cet angle ou s'il est plus proche de 360° que cet angle, un cercle entier sera dessiné.

Ligne de projection vers le plan de travail
L'affichage des lignes de projection peut être activé/désactivé. Il indique la distance du curseur par rapport au plan de travail en cours.

Supprimer les lignes de contour inutiles après l'intersection automatique de domaines
Contrôle si les courbes de niveau sont automatiquement supprimées après l'intersection des domaines. Si cette fonction est désactivée, les lignes de contour deviennent des lignes internes de l'union.

Briser les éléments structuraux non maillés chaque fois qu'un nœud est inséré

Par défaut, AxisVM utilise des éléments structuraux. Il s'agit d'éléments linéaires constitués d'un ou plusieurs éléments finis. Les éléments non maillés ne contiennent qu'un seul élément fini. Si un nouveau nœud est inséré sur un élément non maillé ou si la ligne est divisée, l'élément structurel reste inchangé mais contient plus d'un élément fini. Cliquer sur un élément structurel sélectionne tous les éléments finis appartenant à l'élément. Ce comportement peut être modifié en cochant cette option. Ensuite, les nouveaux nœuds insérés sur les éléments structuraux séparent l'élément. Pour séparer des éléments de structure existants, utilisez l'option *Édition / Séparer les éléments de structure*.

Permettre la sélection d'éléments finis sur les lignes

S'ils sont activés, les éléments finis d'un élément de structure peuvent être sélectionnés individuellement. Sinon, seul l'élément structurel entier peut être sélectionné.

Permettre la sélection d'assemblages d'éléments

Si elle est activée, les assemblages d'éléments peuvent être sélectionnés à la place des éléments structuraux. Les assemblages d'éléments consistent en un groupe linéaire ayant les mêmes paramètres d'étude, traitées comme une seule entité pour l'étude acier ou en bois.

Les éléments d'un maillage caché peuvent être sélectionnés

Si l'affichage du maillage est désactivé, ce champ contrôle si les nœuds / lignes / éléments surfacique cachés peuvent être sélectionnés ou non. Cette case à cocher contrôle également si ces nœuds et éléments apparaissent dans les tableaux ou non.

Montrer les instructions au curseur

Contrôle l'affichage d'une petite fenêtre d'info-bulle au niveau du curseur avec des instructions pour l'étape suivante de la tâche en cours. Si cette option n'est pas cochée, les messages d'instructions n'apparaissent que dans la ligne d'état inférieure.

Rendre éditable tous les calques en entrant dans l'éditeur de calques

Si elle est activée, tous les calques verrouillés seront déverrouillés lors de l'entrée dans l'éditeur de calques d'arrière-plan.

Voir... *2.16.12 Édition des calques de fond de plan*. Sinon, les calques verrouillés doivent être déverrouillés manuellement.

Voir... *2.12. Gestionnaire de calques* et *2.18 Boutons rapides*.

Contrôle de la géométrie avant d'effectuer une analyse

Si elle est activée, une vérification de la géométrie est automatiquement effectuée avant l'analyse.

Voir... *4.8.19. Vérification de la géométrie*

Ajuster le projet avec toutes les trames structurelles dans la vue

S'il est activé et que le projet est zoomé pour s'adapter à la vue, les lignes de trame structurelles sont également prises en compte lors de la détermination du taux de zoom.

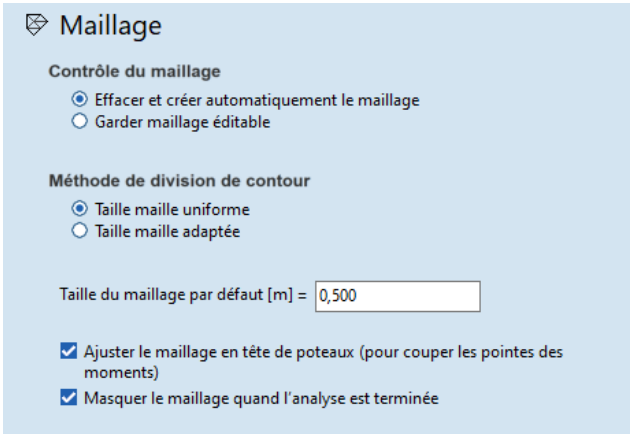
Garder la vue inchangée dans les opérations "défaire"

Si elles sont activées, les opérations défaire n'affectent pas la vue du projet. Sinon, l'annulation d'une commande remet le projet tel qu'il était affiché avant la commande.

Mettre en évidence les éléments sous le curseur de la souris

Le ou les éléments sous le curseur de la souris seront mis en évidence (à la fois dans la vue filaire et dans la vue rendue). Cliquez sur l'échantillon de couleur pour personnaliser la couleur de mise en évidence.

3.3.11.8. Maillage



Contrôle du Maillage

On peut choisir l'une des méthodes de gestion de la maille suivantes.

Effacer et créer automatiquement le maillage
Toute modification effectuée sur un domaine supprime son maillage. Lors du lancement de l'analyse, les maillages manquants seront recréés sur la base des paramètres de maillage du domaine.

Garder le maillage éditable
Les mailles peuvent être éditées manuellement.

Méthode de division de contour

Taille maille uniforme
Les maillages seront générés en fonction de la taille des éléments définie par l'utilisateur, quelle que soit la forme du domaine (nombre minimum d'éléments finis).

Taille maille adaptée
Prend en considération la forme du domaine et crée un meilleur maillage en augmentant la densité du maillage partout où cela est nécessaire.

Taille du maillage par défaut

Lors de la première définition des paramètres de maillage pour un domaine, cette valeur apparaîtra par défaut.

Ajuster le maillage en tête de poteaux

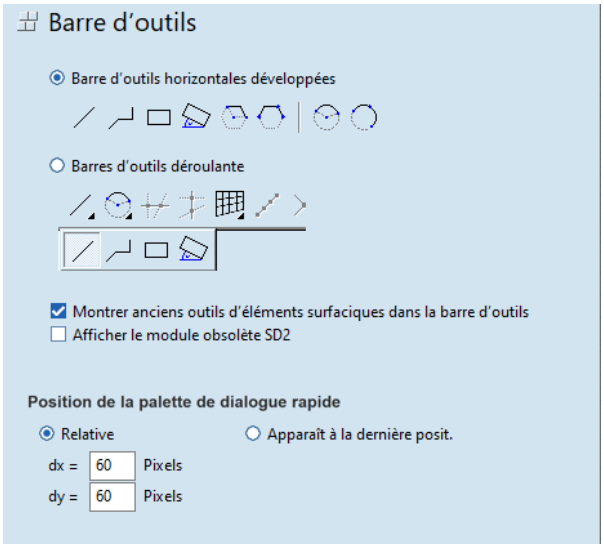
En activant/désactivant cette option, vous définissez l'état par défaut de la boîte de dialogue des paramètres de maillage.
Voir... *4.11.1.2. Maillage des domaines.*

Masquer le maillage quand l'analyse est terminée

La vérification de la fonction *Cacher les mailles après l'analyse* désactive automatiquement les mailles après l'analyse.

3.3.11.9. Barre d'Outils

Barre d'outils



Affichage de la barre d'outils

Si l'option *Barres d'outils horizontales développées est* choisie, toutes les icônes apparaissent dans une rangée. Des lignes de séparation indiquent les différents groupes de fonctions.
Si l'on choisit les *barres d'outils Déroulant*, les différents groupes fonctionnels seront représentés par une seule icône. En cliquant sur la flèche en bas à droite, une autre barre d'outils s'affiche, montrant différents outils.

L'exploitation de domaines et de maillages automatiques rend inutile la création d'éléments surfacique individuels et la mise en place de charges sur ces derniers. Pour des raisons de compatibilité, les fonctions connexes ne sont pas supprimées mais maintenues cachées. Leur visibilité est contrôlée par l'option *Afficher les outils d'éléments surfacique obsolètes sur les barres d'outils.*

Le module SC1 est recommandé pour concevoir des assemblages boulonnés en acier. Le module SD2, obsolète, peut toujours être utilisé ici, quelle que soit la configuration du module.

Position de la Palette de dialogue rapide

La position de la palette de dialogue rapide peut être:
Relative
Précisez la distance horizontale *(dx)* et verticale *(dy) de l*'opération en pixels.
Apparaît dans la dernière position.
La palette de dialogue rapide apparaît dans sa dernière position.

3.3.11.10. Affichage

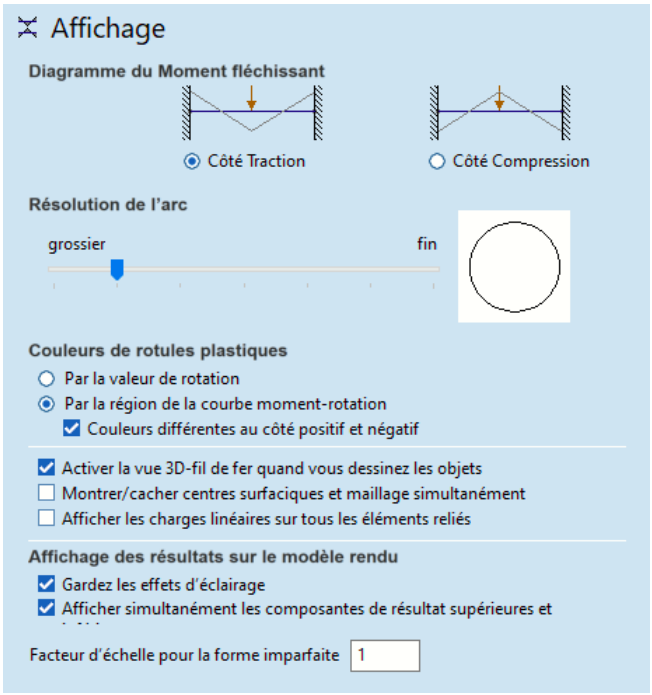


Diagramme du moment fléchissant

Il est possible de définir une règle de placement pour les diagrammes de moment.

Résolution de l'arc

Les arcs sont affichés sous forme de polygones. Réglez ici la résolution d'affichage. Plus la résolution est fine, plus le polygone se rapproche de l'arc. Ce paramètre n'affecte que le dessin et n'est pas lié à la précision de l'analyse.

Couleurs de rotules en plastique

Ces réglages déterminent le code couleur des rotules en plastique. La première option consiste à colorer les rotules en fonction de la rotation. La deuxième option consiste à colorier les rotules en fonction de la section transversale de la courbe de moment de rotation où se trouve le point d'état de la rotule. Différentes couleurs peuvent être attribuées aux côtés positif et négatif de la courbe.

Case à cochers

Activer la vue 3D-fil de fer quand vous dessinez des objets
Affiche la vue 3D-fil de fer des objets pendant le dessin (voir... *4.9.4. Dessiner directement l'objet* même si la vue active n'est pas en mode rendu.

Montrer / cacher centres surfacique et maillage simultanément
Si la case est cochée, l'affichage de la maille s'allume et s'éteint automatiquement en fonction des symboles du centre de la surface.

Afficher les charges linéaires sur tous les éléments reliés
Si une charge de bord est appliquée à l'endroit où un mur et deux plaques se rencontrent et où des pièces sont activées (voir... *2.16.14 Parties*) la charge sera affichée en fonction de ce réglage. Si cette option est activée, la charge sera affichée si une partie active contient l'un des trois éléments. Si cette option est désactivée, le chargement ne sera affiché que si une partie active contient les éléments auxquels les chargements ont été initialement attribués. Cette option est utile pour vérifier le système local des éléments du chargement.

Affichage des résultats sur le rendu du projet

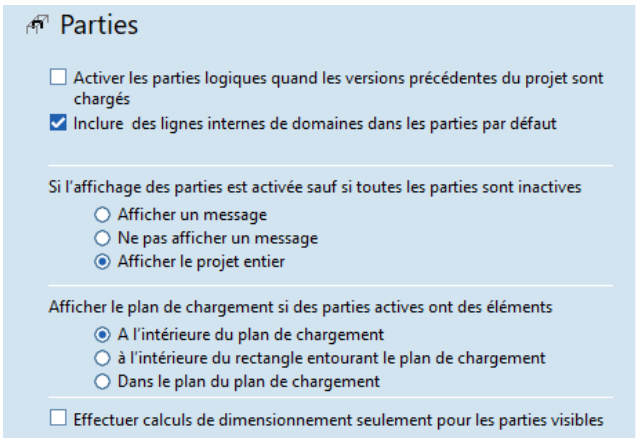
Si l'option d'affichage du résultat du *projet solide* est sélectionnée (*6.1. Statique*) a surface des éléments rendus sera colorée en fonction de la valeur locale de la composante de résultat actuelle.

Conserver les effets d'éclairage
Le rendu inclut l'ombrage, par conséquent les couleurs sur les surfaces peuvent apparaître plus sombres ou plus claires que prévu. Désactivez cette option pour afficher des couleurs correspondant parfaitement à la légende des couleurs.

Afficher simultanément les composants de résultat supérieur et inférieur
L'option d'affichage des résultats du projet solide rend les éléments avec leur épaisseur physique, de sorte qu'il est possible d'afficher simultanément des composantes de résultat autrement séparées pour les valeurs supérieures et inférieures sur les éléments de surface (par exemple, la contrainte de surface ou la quantité requise d'armatures).

Facteur d'échelle pour la forme imparfaite
Dans un cas de charge représentant une imperfection globale ou une imperfection calculée à partir d'une forme de flambage, la structure imparfaite est affichée. L'échelle d'affichage de l'imperfection peut être définie ici.

3.3.11.11. Parties



Activer les parties logiques quand les versions précédentes du projet sont chargées
Si elle est activée, l'ouverture d'un projet créé avec une version ne supportant pas les parties logiques, active automatiquement les parties logiques.

Inclure des lignes internes de domaines dans les parties par défaut
Si elle est activée, des lignes internes de domaines seront présentes dans les parties où le domaine est inclus.

Si l'utilisateur active l'affichage des pièces et décoche toutes les pièces, AxisVM se comportera selon le bouton radio sélectionné.

L'affichage des plans de chargements lorsque seules des parties sont visibles peut également être contrôlé ici.

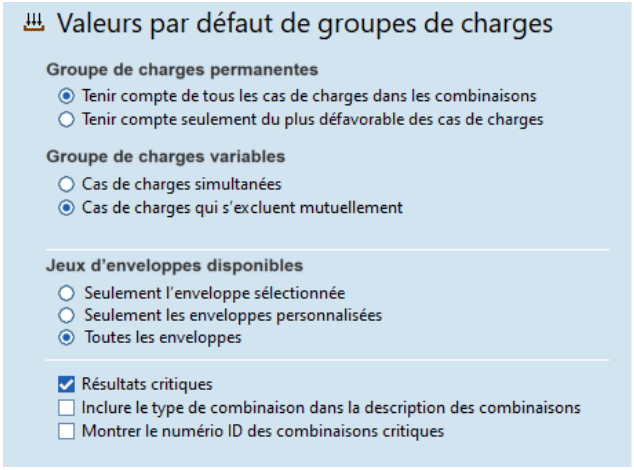
Effectuer calculs d'étude seulement pour les parties visibles

Si la case est cochée, les calculs d'étude sont effectués pour les parties visibles uniquement. Dans le cas de projets de grande taille, cela peut permettre un processus de calcul plus efficace. Toutefois, si une autre partie est définie comme visible, il faut un certain temps pour effectuer les calculs d'étude des éléments qui n'ont pas encore de résultats d'étude. Si la case à cocher est inactive, le programme effectue les calculs d'étude pour chaque élément du projet en une seule fois. Dans ce cas, si une autre partie est sélectionnée, les résultats d'étude sont déjà disponibles et l'utilisateur ne doit pas attendre le calcul dans tous les cas.

La case à cocher n'affecte que le calcul des éléments de résultat suivants:

- Armatures nécessaires
- Largeur de la fissuration
- Exploitation des éléments de structure en acier
- Exploitation des éléments de structure en bois

3.3.11.12. Valeurs par défaut de groupe de charges



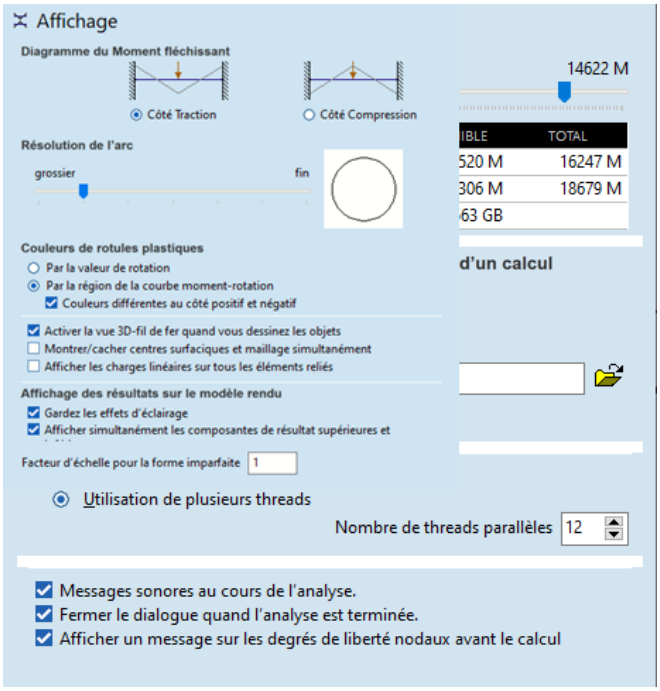
Ici, les valeurs par défaut des paramètres des groupes de charge peuvent être définies.
Les paramètres des enveloppes et des combinaisons sont également placés ici. Le contenu des listes déroulantes des cas de chargement et des combinaisons (dans les onglets de résultat et d'étude) peut être contrôlé ici. AxisVM permet de créer différents ensembles d'enveloppes (voir... *Options d'affichage des résultats* dans *6.1. Statique*).
Dans le troisième groupe, *jeux d'enveloppes disponibles*, si la première option est sélectionnée, seule l'enveloppe sélectionnée apparaîtra dans les listes. Si la deuxième option est sélectionnée, seules les enveloppes personnalisées seront listées. Si la troisième option est sélectionnée, toutes les enveloppes standard et personnalisées seront listées.

Résultats critiques: Vérifier pour permettre de trouver les combinaisons critiques. Si la case n'est pas cochée, les résultats ne seront disponibles que pour les cas de chargement / combinaisons et leurs enveloppes.

Inclure le type de combinaison dans la description des combinaisons: La description des combinaisons peut être étendue pour indiquer le type de combinaison (types ELU ou ELS).

Montrer le numéro ID des combinaisons critiques: Pour faciliter la comparaison des combinaisons critiques, l'ID de la combinaison critique peut être affiché sous forme de préfixe.

3.3.11.13. Analyse



Au début de l'analyse, AxisVM divise le système d'équations en blocs en fonction de la mémoire physique et virtuelle disponible. Il rend l'analyse plus efficace mais peut considérablement ralentir les autres applications. Définissez ici la quantité de mémoire virtuelle que vous laissez AxisVM utiliser pendant l'analyse.

Activer l'accès à la mémoire étendue (AWE)

Si plus de 4 Go de mémoire sont installés avec un système d'exploitation 32 bits, cette option permet d'obtenir plus de mémoire pour l'analyse. Si cette option est désactivée, cela signifie que les pages de mémoire ne sont pas verrouillées.
Voir... *2.1. Exigences en matière de matériel* pour plus de détails.

Utilisation d'un seul thread / Utilisation de plusieurs threads

L'utilisation de plusieurs threads/cores permet à AxisVM d'effectuer des analyses sur plusieurs threads. Pour tirer le meilleur parti de cette option, il est recommandé d'utiliser un processeur doté de la technologie HT-Hyperthread ou DualCore.
Le multithreading améliore la vitesse de calcul. L'amélioration dépend de la mémoire disponible et de la taille du projet. L'analyse linéaire sera 1,5 fois plus rapide, tandis que l'analyse vibratoire peut être 4 fois plus rapide.
Le réglage du *nombre de threads parallèles* permet d'adapter le logiciel aux capacités du matériel sur lequel il fonctionne.

Répertoire contenant les fichiers temporaires lors d'un calcul

Vous pouvez spécifier l'emplacement des fichiers temporaires lors de l'analyse.
Sélectionnez l'une de ces options: *répertoire contenant le projet, Répertoire local contenant les fichiers temporaires, Paramètres personnalisés*
Créer un fichier journal d'analyse: Si cette option est activée, les détails techniques de l'analyse seront consignés et enregistrés dans un fichier texte `modelname_log.txt`.

Messages sonores au cours de l'analyse

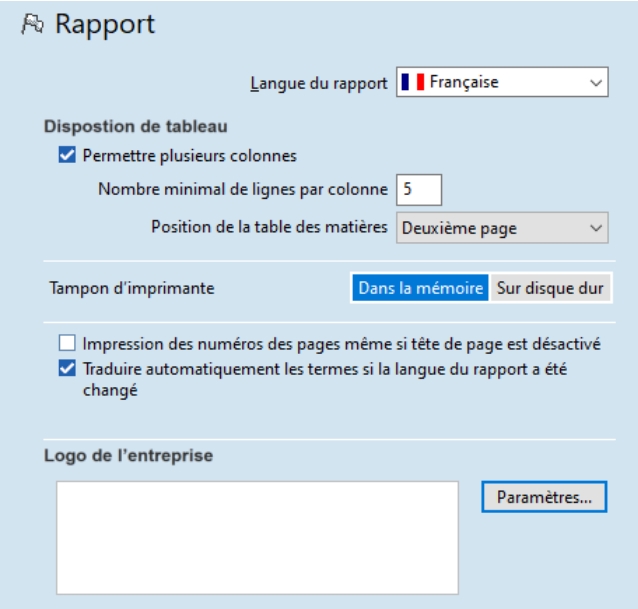
Si cette option est activée, des sons système seront émis après avoir terminé une analyse ou avoir reçu un message d'erreur. La carte son et les haut-parleurs doivent être présents.

Fermer la boîte de dialogue si l'analyse est terminée
Laissez cette option décochée pour voir les paramètres d'analyse, la taille des équations ou le temps d'exécution après l'analyse.

Afficher un message sur les degrés de liberté nodaux avant l'analyse
AxisVM vérifie si les degrés de liberté nodaux sont compatibles avec la géométrie et les charges de la structure avant l'analyse, et, si nécessaire, envoie un message avec une option pour modifier les degrés de liberté. Voir... *4.9.21 DDL Nodal (degrés de liberté).* Le message affiche également la case à cocher *Ne pas afficher ce message pour ce modèle*. Le programme se souviendra des réponses actuelles et n'affichera pas à nouveau la question.
Si vous voulez que la fenêtre de message réapparaisse, vous pouvez l'activer ici.

Si vous désactivez le message ici, le programme vérifiera et modifiera les degrés de liberté sans préavis et enregistrera la modification dans le modèle.

3.3.11.14. Rapport



Langue du rapport

En fonction de votre configuration, vous pouvez choisir parmi les langues suivantes: *anglais, allemand, français, italien, espagnol, néerlandais, hongrois, russe, portugais, roumain, serbe.*

Disposition de Tableau

Si la case *Permettre plusieurs colonnes* est cochée, les tableaux de rapport étroits seront imprimés en plusieurs colonnes afin de réduire l'espace requis. Un *nombre minimal de lignes par colonne* peut être spécifié pour éviter les ruptures de colonnes pour les tableaux courts.
La position de la table des matières dans les rapports peut être choisie dans une liste *(Première page, Deuxième page, Troisième page).*

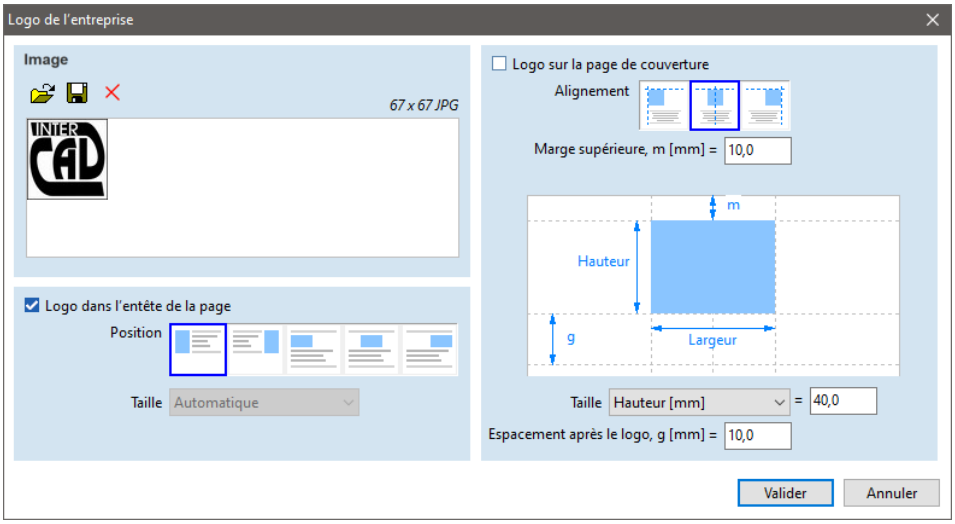
Tampon d'imprimante

Si un rapport comprend de nombreuses images, la construction du rapport entier en mémoire peut consommer trop de ressources système et causer des problèmes d'impression. Dans ce cas, réglez la mémoire tampon de l'imprimante sur *disque dur*.

Impression des numéros de page même si l'en-tête de page est désactivé
Si cette option est activée, les numéros de page apparaissent sur les pages imprimées même si les en-têtes sont désactivés dans la boîte de dialogue d'impression.

Traduire automatiquement les termes si la langue du rapport a été changée
Si cette option est activée, les noms de la bibliothèque de dessins ou de rapports générés par AxisVM seront translatés automatiquement.

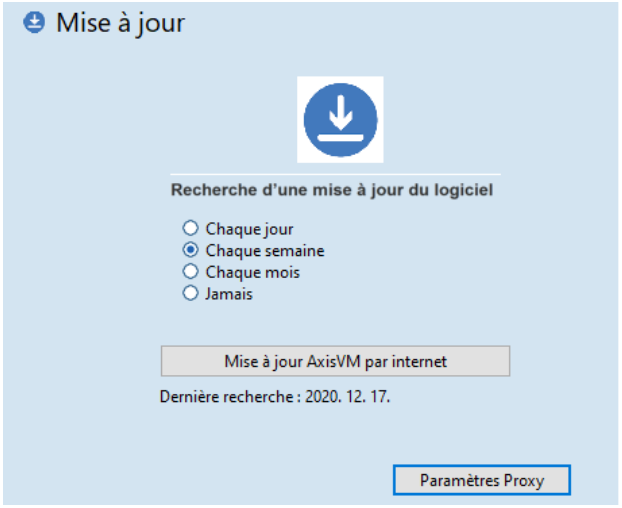
Logo de l'entreprise



Le logo d'une entreprise peut être chargé, enregistré, supprimé à l'aide des trois boutons de la barre d'outils. Cette image apparaîtra dans l'en-tête de page des dessins, tableaux, rapports imprimés et/ou sur la page de couverture du rapport selon les paramètres de position, de taille, de marges.

Ces paramètres n'ont aucun effet sur la sortie RTF car celle-ci est basée sur un fichier projet RTF séparé. Voir... *2.10.2. Rapport*

3.3.11.15. Mise à Jour



Recherche d'une mise à jour du logiciel AxisVM vérifie régulièrement si une mise à jour est disponible sur le web. La fréquence des contrôles de mise à jour peut être contrôlée. Si l'option *Jamais* est choisie, un processus de mise à jour peut être lancé en cliquant sur *AxisVM Web Update*. La date de la dernière recherche est affichée. Si la connexion Internet passe par un serveur proxy, les paramètres du proxy doivent être définis après avoir cliqué sur Paramètres du *proxy*.

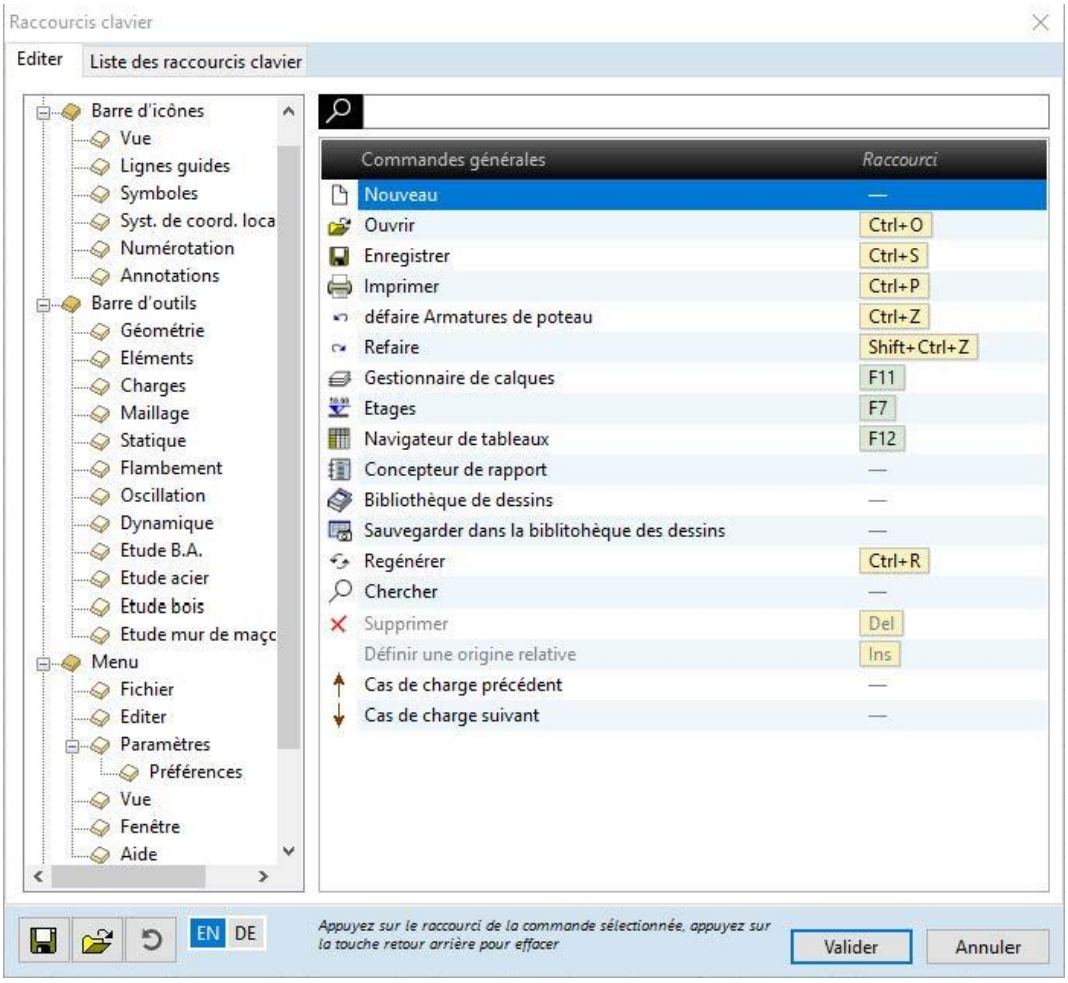
Misz à jour AxisVM par Internet Cliquez sur le bouton pour accéder à l'assistant de mise à jour Web d'AxisVM qui est un guide pour le processus de téléchargement. Si le téléchargement est terminé et que l'option *Mettre à jour le programme est* cochée sur la dernière page, le programme s'arrête et commence l'installation de la nouvelle version.

Paramètres Proxy Si le réseau atteint le web par un serveur proxy, les données de configuration (nom du proxy, port, nom d'utilisateur et mot de passe) peuvent être saisies ici.

3.3.12. Raccourcis clavier

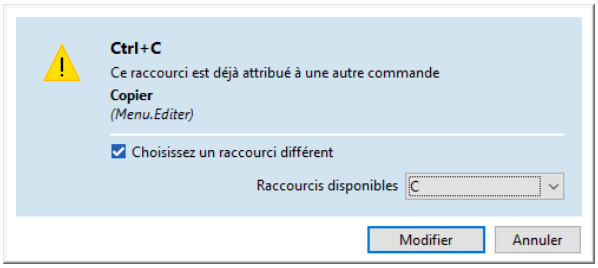
Des raccourcis clavier sont attribués aux éléments du menu, les boutons de la barre d'outils peuvent être personnalisés.

Edition



L'arborescence sur le côté gauche affiche les groupes de commandes disponibles. Cliquez sur une commande dans la liste de droite, puis appuyez sur le raccourci souhaité. Le **retour arrière (** ←) efface l'affectation.

Si le raccourci souhaité est déjà utilisé, un avertissement de *conflit de raccourcis s*'affiche.



Le message indique la commande en utilisant le raccourci.

Si l'option *Choisissez un raccourci différent* est cochée, le raccourci peut être sélectionné dans une liste de raccourcis disponibles (non attribués).

Si cette option n'est pas cochée, le fait de cliquer sur le bouton *Modifier* efface l'affectation précédente et attribue le raccourci à la commande donnée.

☞ ***Les raccourcis attribués aux boutons de la barre d'outils des différents onglets (Géométrie, Éléments, etc.) ne sont pas en conflit. Ainsi, le même raccourci peut être attribué à des commandes sur différents onglets. Seuls les raccourcis pour l'onglet en cours seront activés.***



Enregistre la configuration actuelle des raccourcis dans un fichier *. *axsc*.



Charge une configuration de raccourci préalablement enregistrée à partir d'un fichier *. *axsc*.

Par défaut, les raccourcis sont stockés dans le dossier `C:\Users\UserName\AppData\Roaming\AxisVM\13\Raccourcis`. La configuration par défaut des raccourcis de AxisVM 12 peut être chargée à partir de `AxisVM12Default.axsc` ; la même chose pour AxisVM 13 est `AxisVM13Default.axsc`.

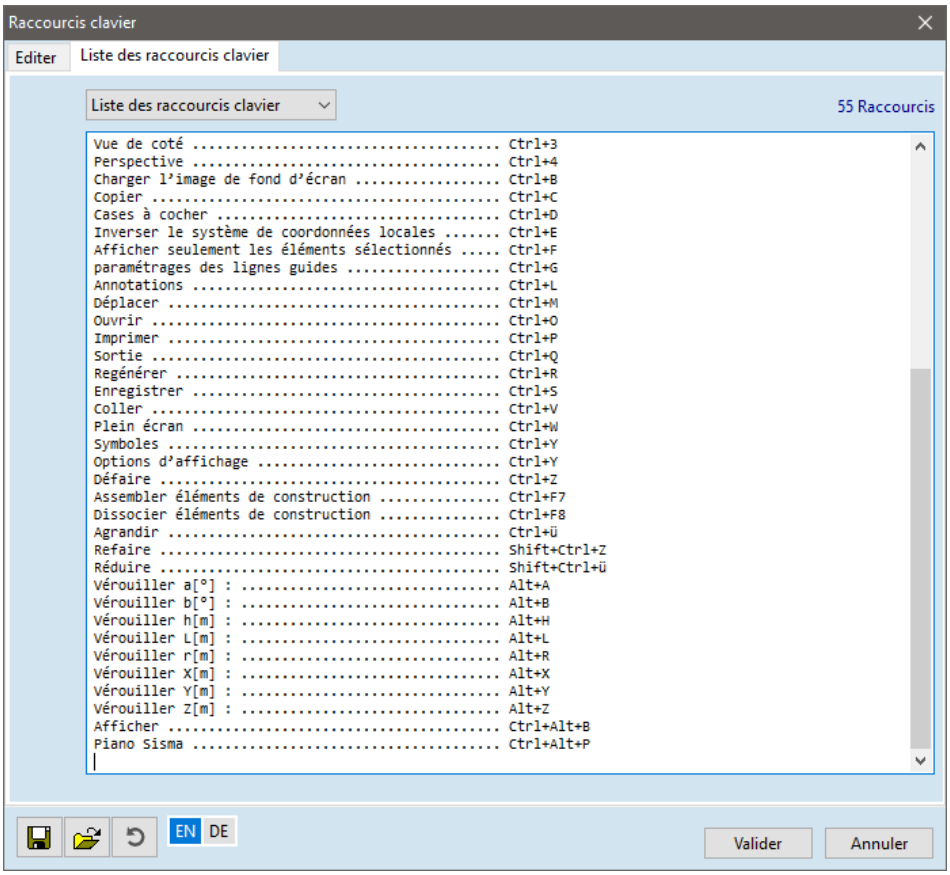


Utiliser les paramètres des raccourcis à leurs valeurs par défaut.



Un bouton permettant d'afficher les noms des touches anglaises ou allemandes dans les descriptions des raccourcis.

Liste de raccourcis



L'onglet *Liste des raccourcis claviers* affiche une liste de tous les raccourcis disponibles. Il peut s'agir d'une liste de *commandes* ou d'une *liste de raccourcis* (la première est ordonnée selon les groupes de commandes, la seconde selon les raccourcis)
Pour la liste complète de la configuration par défaut, voir2.6Raccourcis clavier.

3.3.13. Langue



Le changement de langue (Module DM) fait partie des paquets de base d'AxisVM. La langue définit la langue de l'interface utilisateur.

3.3.14. Langue du rapport

Le changement de langue fait partie des paquets de base d'AxisVM.
La langue du rapport contrôle la langue des éléments dans la sortie imprimée.

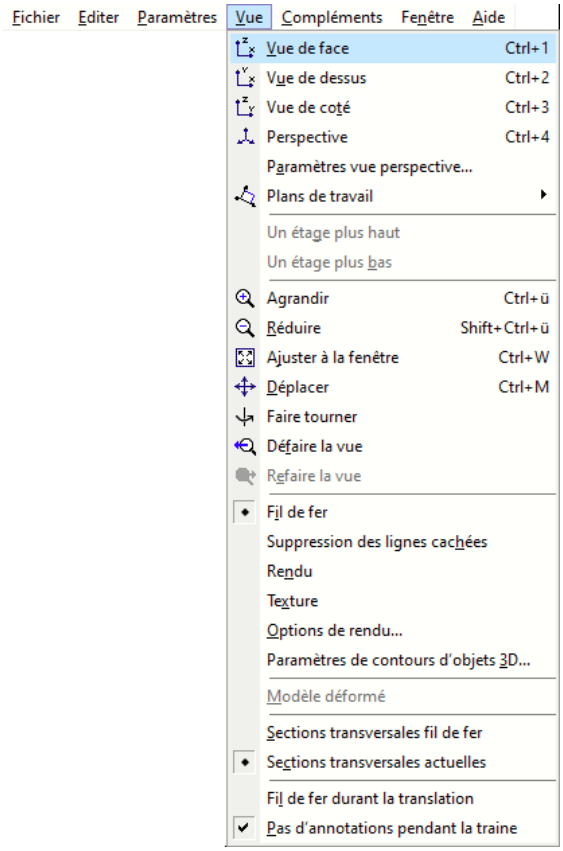
3.3.15. Barres d'outils à la position par défaut

La barre d'icônes mobile reviendra sur le côté gauche. Toutes les barres d'outils mobiles qui ont été désarrimées et déplacées vers une nouvelle position retourneront à la barre d'icônes. Les paramètres personnalisés de la boîte combinée et de la largeur des champs d'édition dans les onglets de post-traitement seront réinitialisés à leur valeur par défaut. Voir... *6.1. Statique.*

3.3.16. Fenêtre de dialogue en position par défaut

AxisVM se souvient de la dernière position des dialogues et les affiche à cet endroit. Si un problème est détecté sur des systèmes à plusieurs moniteurs, le fait de mettre les boîtes de dialogue en position par défaut peut le résoudre.

3.4. Vue



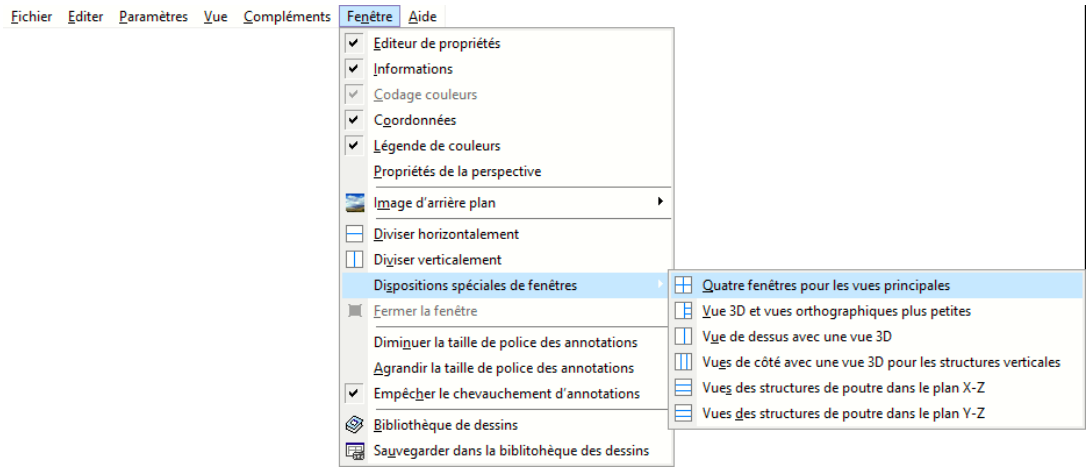
	*Vue de face* **[Ctrl + 1]**	Voir... *2.16.3. Points de vue*
	*Vue de dessus* **[Ctrl + 2]**	Voir... *2.16.3. Points de vue*
	*Vue de côté* **[Ctrl + 3]**	Voir... *2.16.3. Points de vue*
	*Perspective* **[Ctrl + 3]**	Voir... *2.16.3. Points de vue*
	Paramètres vue perspective	Voir... *2.16.3. Points de vue*
	*Plans de travail*	Voir... *2.16.7 Plans de travail*
	Un étage plus haut / Un étage plus bas	Si l'affichage d'un étage est activé, c'est le moyen le plus rapide de faire monter ou descendre un étage.

 *Agrandir* **[Ctrl + /], [+]**	Voir... *2.16.2. Barre d'icônes zoom*
 *Réduire* **[Ctrl + [Maj]+ /], [-]**	Voir... *2.16.2. Barre d'icônes zoom*
 *Ajuster à la fenêtre* **[Ctrl + W]**	Voir... *2.16.2. Barre d'icônes zoom*
 *Déplacer*	Voir... *2.16.2. Barre d'icônes zoom*
 *Faire tourner*	Voir... *2.16.2. Barre d'icônes zoom*
 *Défaire la vue* **[Ctrl + [ ]**	Voir... *2.16.2 Barre d'icônes zoom*
 *Refaire la vue* **[Ctrl +]]**	Voir... *2.16.2. Barre d'icônes zoom*
Fil de fer *Suppression des lignes cachées* *Rendu* *Texture* *Options de rendu...* *Paramètres de contour des objets 3D...* *Afficher les pièces non visibles en grisé*	Voir... *2.16.4. Modes d'affichage*
Modèle déformé	Même chose que pour le réglage de la *forme d'affichage* sur *Déformé* ou Non déformé dans la boîte de dialogue *Paramètres d'affichage*. Voir... *6.1. Statique*
Sections transversales fil de fer	En mode rendu, les sections transversales à parois minces ne seront affichées qu'avec des plans médians.
Sections transversales actuelles	En mode rendu, les sections transversales à parois minces seront affichées sous forme d'objets solides avec leur forme réelle.
Fil de fer durant la translation	S'il est allumé, le programme affiche le fil de fer du projet pendant la rotation ou le panoramique.
Pas d'annotations pendant la translation	Si cette option est activée, les annotations ne sont pas dessinées pendant la rotation ou le panoramique.

3.5. Compléments

Si des applications tierces sont installées dans le dossier *Compléments*, elles apparaissent sous le menu *Compléments*.
Les Compléments installés dans le dossier compléments n'apparaissent pas comme des éléments de menu mais créent des boutons supplémentaires sur les barres d'outils.

3.6. Fenêtre



3.6.1. Editeur de propriétés

L'éditeur de propriétés offre le moyen le plus rapide de modifier les propriétés des nœuds, éléments ou charges sélectionnés. Toutes les modifications sont effectuées immédiatement. Si la sélection contient différents éléments, il est possible de modifier leurs propriétés communes (par exemple, après avoir sélectionné des fermes, des poutres et des nervures, leur matériau et leur section transversale seront modifiables). Si les onglets de résultat ou d'étude sont actifs, les valeurs sont en lecture seule.
Dans certains domaines, les expressions mathématiques régulières sont également acceptées.
Les opérateurs et les fonctions disponibles sont :

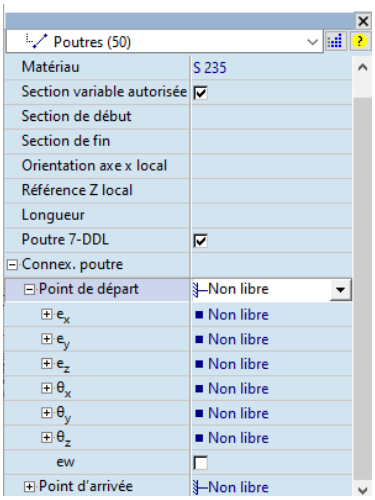
(,), SIN, COS, TAN, EXP, LN, LOG10, LOG2, SINH, COSH, TANH, ARCSIN, ARCCOS, ARCTAN, ARCSINH, ARCCOSH, ARCTANH, INT, ROUND, FRAC, SQR, SQRT, ABS, SGN.
Peu d'opérateurs rapides :

++8 *ajoute* 8 à la valeur réelle
- 8 *soustrait* 8 de la valeur réelle

Les nombres négatifs dans l'opération doivent être entre parenthèses.
Dans ces expressions, # remplace la valeur réelle (par exemple *#/3* divise par 3). Lorsque vous saisissez une valeur de coordonnées nodales, de valeurs de charge, d'épaisseurs surfacique, vous pouvez vous référer à des coordonnées globales comme *X, Y, Z* ou *x, y, z*. Dans le cas de certains types de charge, les variables se réfèrent également à d'autres composantes de la charge.

Pour les charges nodales ou les charges ponctuelles sur les poutres, les variables *Fx, Fy, Fz, Mx, My, Mz* se réfèrent aux composantes de la force et du moment. Pour les charges réparties sur les poutres *px1, py1, pz1, m1, px2, py2, pz2, m2 se réfèrent* aux composantes de la charge. Les noms de variables ne sont pas sensibles à la casse.
Exemple 1: si vous voulez orienter certaines charges de vent réparties avec différentes composantes *X* vers la direction *Y,* entrez "*px1*" dans le champ *pY1* et "*px2*" dans le champ *pY2,* puis entrez zéro dans les champs *pX1* et *pX2*.
Exemple 2: pour mettre la structure à l'échelle dans la direction *X de* 200 %, sélectionnez d'abord tous les nœuds, puis cliquez sur la première ligne et entrez *X*2* comme X.
Le bouton point d'interrogation permet d'activer/désactiver les informations d'aide.

Les propriétés sont affichées dans une structure arborescente. En cliquant sur un symbole [+] ou [-] avant le nom de la propriété, vous pouvez agrandir ou réduire la liste des sous-propriétés.
Si le bouton (...) apparaît sur une ligne, la propriété peut être modifiée en utilisant une boîte de dialogue séparée.
Si le bouton (>>) apparaît dans une ligne, la propriété peut être reprise d'un autre élément en cliquant dessus.
L'éditeur de propriétés peut être utilisé pour modifier les données mais aussi pour sélectionner et filtrer les éléments ayant la même propriété.



Filtre 

En sélectionnant une propriété et en cliquant sur le bouton de filtrage, vous pouvez sélectionner tous les éléments ayant la même valeur de propriété.
Exemple: modification d'une section transversale existante dans l'ensemble de la structure.
En sélectionnant la propriété de la section transversale d'un élément de nervure, vous pouvez sélectionner tous les éléments de nervure ayant cette section transversale puis modifier leur propriété de section transversale.

Les composants de chargement peuvent être filtrés de la même manière. Sélectionnez un chargement, sélectionnez un composant de chargement dans l'éditeur de propriétés et cliquez sur le bouton Filtrer. De cette façon, vous pouvez sélectionner toutes les charges ayant la même valeur de composant.

3.6.2. Fenêtres d'information



Permet d'activer ou de désactiver l'affichage des fenêtres État, Codage des couleurs, Coordonnées et Légende des couleurs. Voir... *2.19 Fenêtres d'information*

3.6.3. Image d'arrière plan

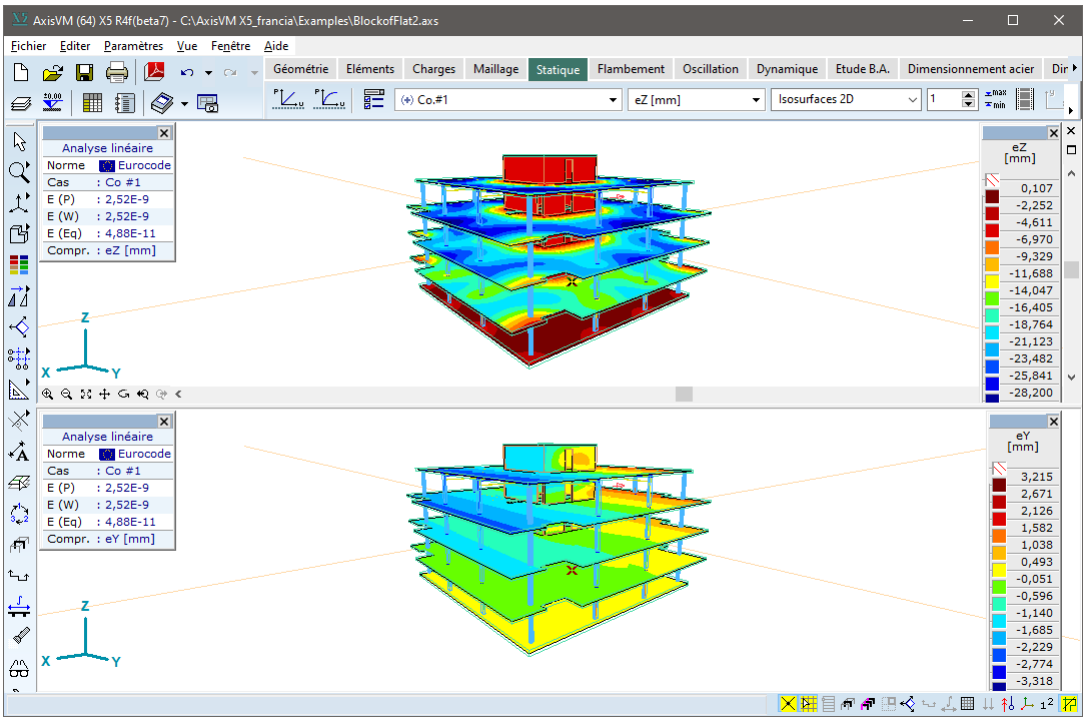


Le sous-menu propose plusieurs options. Une image d'arrière-plan ajustée automatiquement peut être chargée dans la fenêtre principale d'AxisVM pour montrer le projet dans son futur environnement. Le sous-menu *charger l'image d'arrière-plan...* ou **[Ctrl+B]** ouvre une boîte de dialogue dans le navigateur de fichiers, *recharger l'image d'arrière-plan...* affiche les fichiers d'images les plus récemment utilisés. En mode multifenêtres, chaque fenêtre peut avoir sa propre image d'*arrière-plan*.

L'image dans la fenêtre active peut être activée et désactivée en cliquant sur *Affichage* ou en utilisant **[Ctrl+Alt+B].**
Enregistrer l'image de *fond* enregistre l'image dans la fenêtre active dans un fichier. Si l'aspect de l'image diffère de celui de la fenêtre, *[Maj] image d'arrière-plan...* permet de faire glisser l'arrière-plan vers une nouvelle position. *Supprimer l'image d'arrière-plan* supprime l'image de la fenêtre active.
Les images *d'*arrière-plan sont enregistrées dans le fichier AXS.

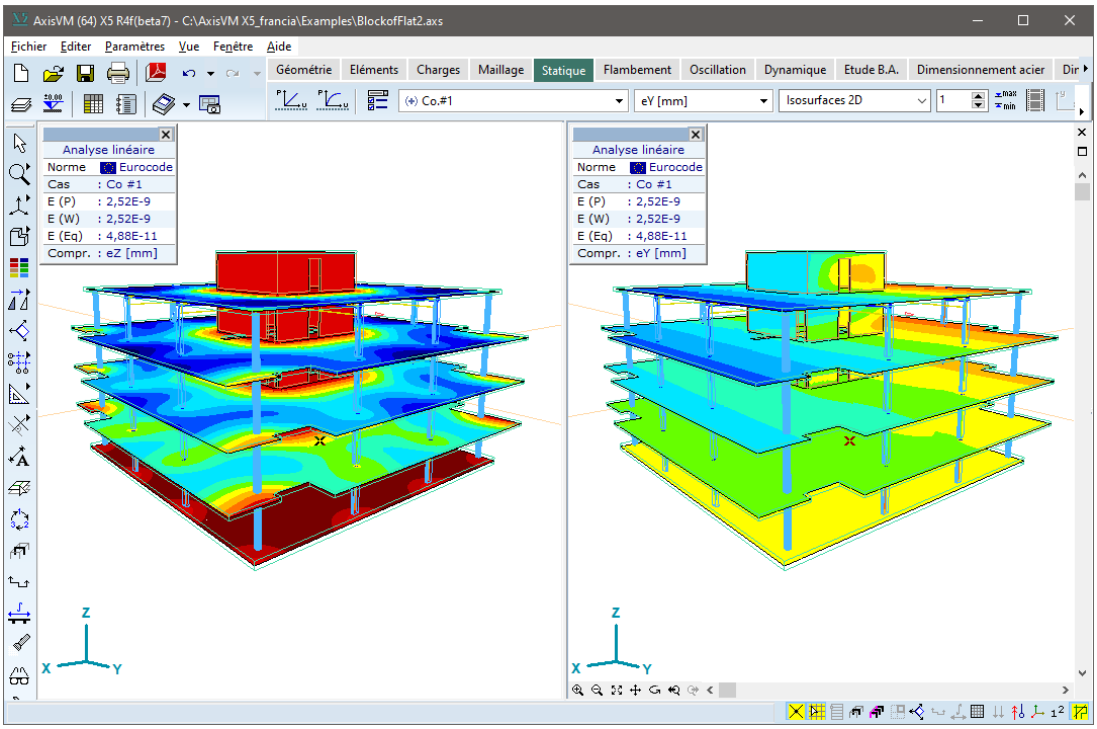
Après avoir chargé une image d'arrière-plan, le projet peut être réglé sur une vue appropriée en effectuant un zoom arrière, un zoom avant, un panoramique, une rotation et en définissant la perspective.

3.6.4. Diviser horizontalement



Divise la fenêtre graphique horizontalement en deux parties. En cliquant sur l'une d'entre elles, cette fenêtre est active. Les paramètres d'affichage de chaque fenêtre peuvent être réglés indépendamment. Il est possible de choisir un cas de charge ou une combinaison différente pour chaque fenêtre.
Vous pouvez agrandir, réduire ou restaurer les fenêtres graphiques en utilisant les boutons en haut à droite des fenêtres.

3.6.5. Diviser verticalement



Divise la fenêtre graphique verticalement en deux parties. Un clic sur l'une d'entre elles active cette fenêtre. Les paramètres d'affichage de chaque fenêtre peuvent être réglés indépendamment. Il est possible de choisir un cas de charge ou une combinaison différente pour chaque fenêtre.

Vous pouvez agrandir, réduire ou restaurer les fenêtres graphiques en utilisant les boutons en haut à droite des fenêtres. Différents cas de charge peuvent être définis dans chaque fenêtre, mais uniquement lors de l'affichage des résultats.

3.6.6. Dispositions spéciales des fenêtres

Ce sous-menu propose des mises en page multifenêtres prédéfinies.



Quatre fenêtres pour des vues principales
Les quatre fenêtres de taille égale affichent la vue de face (X-Z), la vue latérale (Y-Z), la vue de dessus (X-Y) et la vue en perspective (de gauche à droite et de haut en bas), de sorte que le projet entier soit visible dans chaque fenêtre.



Vue 3D et vues orthographiques plus petites
Le plus grand volet à gauche affiche la vue en perspective, avec la vue de dessus (X-Y), la vue de face (X-Z), la vue de côté (Y-Z) (de haut en bas) à droite, de sorte que le projet entier soit visible dans chaque volet.



Vue de dessus avec une vue 3D
Le grand volet de gauche affiche la vue de dessus (X-Y) avec la vue en perspective à côté, de sorte que le projet entier soit visible dans chaque volet.



Vues latérales avec une vue 3D pour les structures verticales
Les trois volets de taille égale obtenus avec les divisions verticales affichent la vue de face (X-Z), la vue latérale (Y-Z) et la vue en perspective, de sorte que le projet entier soit visible dans chaque volet.



Vues des structures de poutres dans le plan X-Z
Les trois volets de taille égale obtenus par division horizontale affichent la vue de face (X-Z), la vue latérale (Y-Z) et la vue en perspective, de sorte que le projet entier soit visible dans chaque volet.



Vues des structures de poutres dans le plan Y-Z
Les trois volets de taille égale obtenus avec des divisions horizontales affichent la vue latérale (Y-Z), la vue de dessus (X-Y) et la vue en perspective, de sorte que le projet entier soit visible dans chaque volet.

3.6.7. Fermer la fenêtre



Ferme la fenêtre graphique actuelle.

3.6.8. Changement de la taille de la police des annotations

Diminuer / Agrandir la taille de police des annotations

Ces deux éléments de menu consistent à modifier la taille de la police de toutes les annotations des diagrammes.

3.6.9. Empêcher le chevauchement d'annotations

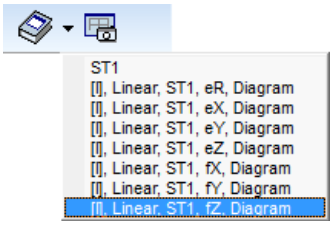
Si cette option est cochée, le programme empêche le chevauchement des annotations en déplaçant et en masquant les annotations moins importantes. Dans ce dernier cas, le zoom peut augmenter le nombre d'annotations visibles. Les priorités sont déterminées par les types et les valeurs des annotations. Si un grand nombre d'annotations doit être affiché, cette optimisation peut prendre beaucoup de temps.
Vous pouvez également définir cette option dans Options d'affichage / Annotations. Voir... *2.16.18 Options d'affichage*

3.6.10. Bibliothèque de dessins



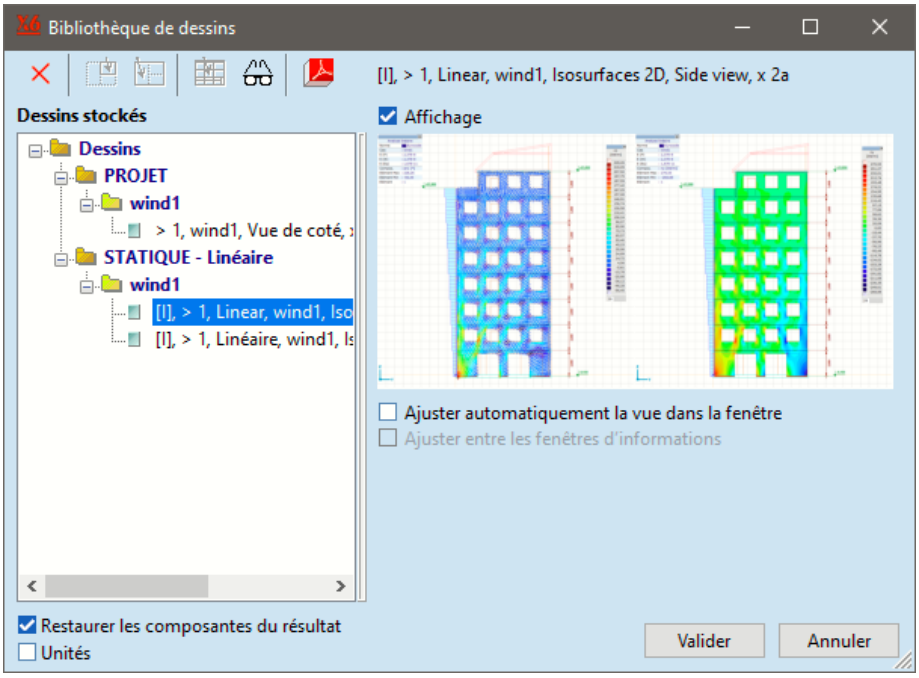
La bibliothèque de dessins contient des dessins sauvegardés dans le programme. Les dessins ne sont pas des images sauvegardées mais des instructions sur la façon de dessiner une vue du projet ou des parties de celui-ci, y compris les réglages multi-fenêtres. Les dessins peuvent être rechargés pour restaurer les paramètres d'affichage et de vue sauvegardés. L'inclusion de dessins dans un rapport facilite la mise à jour du rapport lorsque le projet a changé et a été recalculé, car les dessins seront mis à jour automatiquement comme des tableaux.

La bibliothèque de dessins peut stocker de manière associative les déplacements, les forces, les diagrammes de contrainte des éléments linéaires, les diagrammes d'étude des joints en acier et boulonnés, l'analyse du poinçonnement, la vérification des poteaux en béton armé et l'étude des poutres.



En cliquant sur la flèche à côté du bouton d'outil, un dessin existant peut être sélectionné dans une liste contextuelle, ce qui permet de restaurer sa vue et ses paramètres d'affichage.

Après avoir cliqué sur le bouton de l'outil Bibliothèque de dessins, une boîte de dialogue apparaît.



Ce dialogue permet de visualiser, de maintenir et de recharger les dessins sauvegardés.



Supprime un dessin de la Bibliothèque des dessins



Charge le dessin actuel dans la fenêtre active.
(disponible uniquement en mode multifenêtres)



Charge le dessin actuel sur le bureau



Modifier

Symboles graphiques

L'affichage des symboles graphiques peut être modifié dans les documents de la bibliothèque. Sélectionnez un ou plusieurs éléments et cliquez sur le bouton de la barre d'outils. L'état des symboles dans les dessins sélectionnés est affiché et peut être modifié. Le statut mixte est représenté par des coches grisées.

Exporte les éléments de la Bibliothèque des dessins sous forme de fichier PDF 3D.
Voir... *3.6.10.1. Exporter des dessins vers un fichier PDF 3D - module PDF*

Restaurer les composantes du résultat
Si cette option est cochée, le chargement d'un dessin affichant des résultats restaure également la composante de résultat et définit l'onglet approprié (Statique, Vibration, etc.).
Si cette option n'est pas cochée, le chargement d'un dessin ne rétablit pas le composant de résultat et l'onglet.

Ajuster la vue à la fenêtre automatiquement
Cochez cette option si vous souhaitez que le dessin s'adapte aux changements du projet (le dessin est zoomé pour montrer toutes les parties visibles).

Ajustement entre les fenêtres d'information
Ajuste l'image du modèle dans la zone située entre les fenêtres d'information pour éviter tout chevauchement.

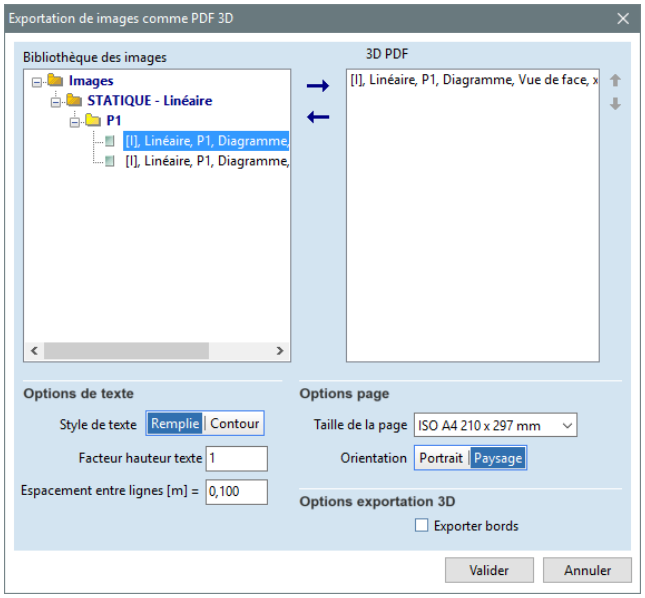
Unités
Cette case à cocher contrôle si les noms générés des diagrammes contiennent les unités (comme eZ *[mm]*).

VALIDER Sauvegarde les modifications et charge le dessin sélectionné.

Annuler N'enregistre pas les changements.

3.6.10.1. Exporter des dessins vers un fichier PDF 3D - module PDF

Les documents de la Bibliothèque des dessins peuvent être exportés sous forme de fichier PDF 3D multipages. Pour visualiser les images 3D interactives, utilisez Adobe Acrobat Reader (version 8.1 ou ultérieure).
Les documents de la bibliothèque sélectionnés dans l'arborescence de gauche peuvent être déplacés dans la liste PDF en cliquant sur la flèche de droite. La flèche gauche permet de supprimer les documents sélectionnés de la liste PDF. Chaque élément de la bibliothèque sera rendu sur une page séparée dans le PDF en suivant l'ordre de la liste PDF. Les éléments de la liste PDF peuvent être réorganisés à l'aide des flèches vers le haut et vers le bas. Les vues 2D et 3D peuvent être exportées. Les dessins en 2D apparaîtront comme des images normales, les vues en 3D peuvent être tournées, zoomées et dézoomées à l'aide d'Acrobat Reader.



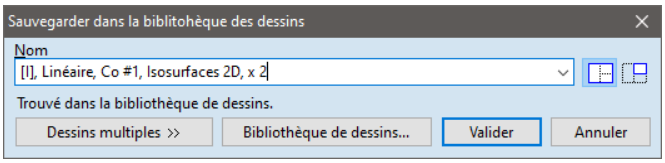
Options de texte La taille et l'apparence du texte peuvent être contrôlées dans le groupe *Options de texte*.

Options page La taille et l'orientation des pages du document PDF peuvent être définies dans le groupe *Options page*.

Options Exportation 3D Parfois, le fait de dessiner tous les bords rend la vue un peu floue. L'exportation des bords peut donc être activée / désactivée.

3.6.11. Sauvegarder dans la bibliothèque des dessins





En cliquant sur ce bouton, un ou plusieurs dessins peuvent être enregistrés dans la bibliothèque de dessins.
Si le dessin actuel existe déjà, une annotation "*Trouvé dans la bibliothèque de dessins*" s'affiche dans la boîte de dialogue. Il peut être écrasé ou le dessin peut être renommé. Le bouton "*Dessins multiples*" ouvre des options supplémentaires. Les cas de charge, les combinaisons de charge (et les composants de résultat si les résultats sont affichés) peuvent être choisis. AxisVM crée toutes les combinaisons (c'est-à-dire tous les composants de résultats sélectionnés dans tous les cas de charge sélectionnés) et les enregistre dans la bibliothèque avec la vue et les paramètres d'affichage actuels.
Si plusieurs projets de vues ont été créés en divisant la fenêtre principale, deux options sont disponibles:



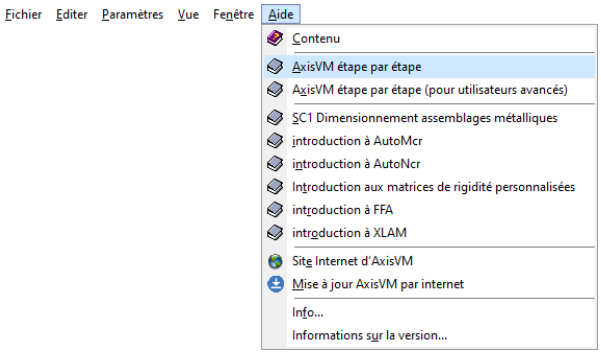
Sauvegarde de la vue entière avec toutes les fenêtres.



Sauvegarde le dessin de la fenêtre active uniquement.

En cliquant sur le bouton *Bibliothèque de dessins, la boîte de* dialogue *Bibliothèque de dessins* s'affiche.

3.7. Aide



Donne accès à ce manuel de l'utilisateur au format PDF et à d'autres ressources en ligne et hors ligne.

3.7.1. Contenu



[F1]

Ouvre le présent manuel de l'utilisateur au format PDF. AxisVM X4 Release 2 réintroduit l'aide contextuelle: la pression de la touche F1 dans les fenêtres de dialogue ouvre le manuel au sujet correspondant.

3.7.2. Guides



Les guides offrent un aperçu de certaines des méthodes d'étude utilisées dans AxisVM.
Le guide des connexions en acier SC1 explique comment utiliser le module **SC1**.
Le *guide AutoMcr* résume la méthode de calcul de la résistance au flambement en torsion latérale dans le module d'étude acier **SD1.** Le *guide AutoNcr* explique la méthode de détermination de la longueur de flambement dans le même module, indique le domaine d'application et l'exploitation appropriée.
Le guide des matrices de rigidité personnalisées explique le contexte théorique du calcul des éléments d'une matrice de rigidité personnalisée qui peuvent être attribués à un domaine. Voir... *4.9.6.6. Domaine avec matrice de rigidité personnalisée.*
Le *guide FFA* concerne le contexte théorique de l'analyse de la fréquentation mise en œuvre dans le module **FFA.**

3.7.3. Site internet d'AxisVM



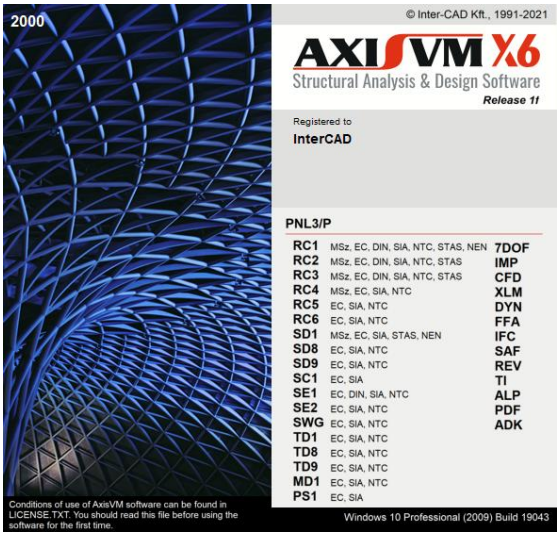
Visiter la page d'accueil d'AxisVM en utilisant le navigateur Internet par défaut *www.axisvm.eu.*

3.7.4. Mise à jour l'AxisVM



Lancement de l'assistant de mise à jour Web d'AxisVM. Voir... *3.3.11. Paramètres*

3.7.5. Info



Cette fenêtre affiche la version et le numéro de version, la configuration, le numéro de série et la limite de temps de votre version d'AxisVM. Les modules disponibles sont en noir, d'autres sont en gris.

3.7.6. Informations sur la version...

Dernières informations sur les versions et événement des correctifs et des nouveaux développements.

3.8. Barre d'outils principale





Voir... *3.1.1. Nouveau projet*



[Ctrl+O]

Voir... *3.1.3. Ouvrir*



[Ctrl+S]

Voir... *3.1.4. Sauvegarder*



[Ctrl+P]

Voir... *3.1.12. Imprimer*



Réaliser un PDF en 3D
Vérification *Conserver le U3D: le* fichier U3D intermédiaire peut être conservé pour une exploitation ultérieure. L'exportation des bords peut être contrôlée grâce à la case à cocher Exporter les *bords.*
Pour plus d'informations, voir le chapitre *3.6.10.1. Exporter des dessins vers un fichier PDF 3D - module PDF*

 [Ctrl]+[Z]

Voir... *3.2.1 Défaire*

 [Maj]+[Ctrl]+[Z]

Voir... *3.2.2. Refaire*

 [F11]

Voir... *3.3.3. Gestionnaire de calques*

 [F7]

Voir... *3.3.4 Etages*

 [F12]

Voir... *2.9 Navigateur de tableau*

 [F10]

Voir... *2.10 Concepteur de rapport*



Voir... *3.6.10. Bibliothèque de dessins*



Voir...*3.6.11. Sauvegarder dans la bibliothèque des dessins*

4. Le préprocesseur

Le préprocesseur Cette commande vous permet de créer ou de modifier la géométrie du projet, de manière totalement visuelle. La fonction avancée de modélisation visuelle permet une modélisation et une étude rapides et fiables.

Ce chapitre présente les commandes de modélisation AxisVM (génération de géométrie, génération d'éléments/maillage, et définition de cas de charge/combinaison).

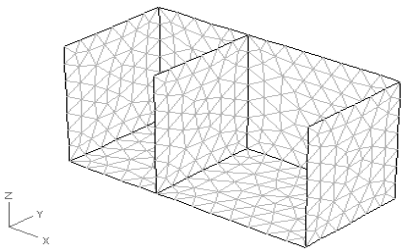
4.1. Géométrie

Les commandes de géométrie Cette commande vous permettent de créer interactivement et graphiquement la géométrie du projet en 3D.
La géométrie du projet est définie par des nœuds (points), des lignes de maillage (lignes) entre les nœuds et des surfaces (triangulaires ou quadrilatérales) créées à partir de trois ou quatre lignes appropriées. Plus tard, vous pouvez définir des éléments finis basés sur la géométrie construite ici.

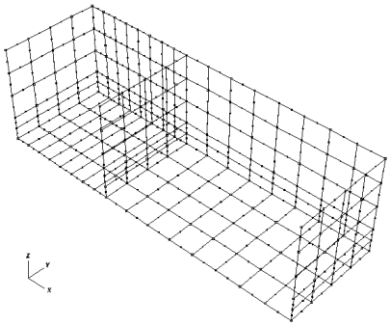
☞ **Le dessin direct des objets ne nécessite pas de géométrie préalable.**
Voir... *4.9.4. Dessiner directement l'objet*

Dans le cas des structures surfacique (plaques, membranes ou coquilles), le maillage est constitué de quadrilatères qui représentent le plan médian des éléments.

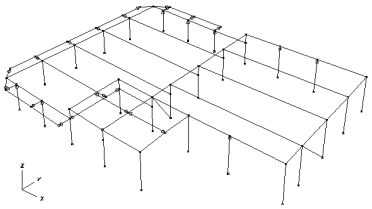
Maillage automatique sur les domaines



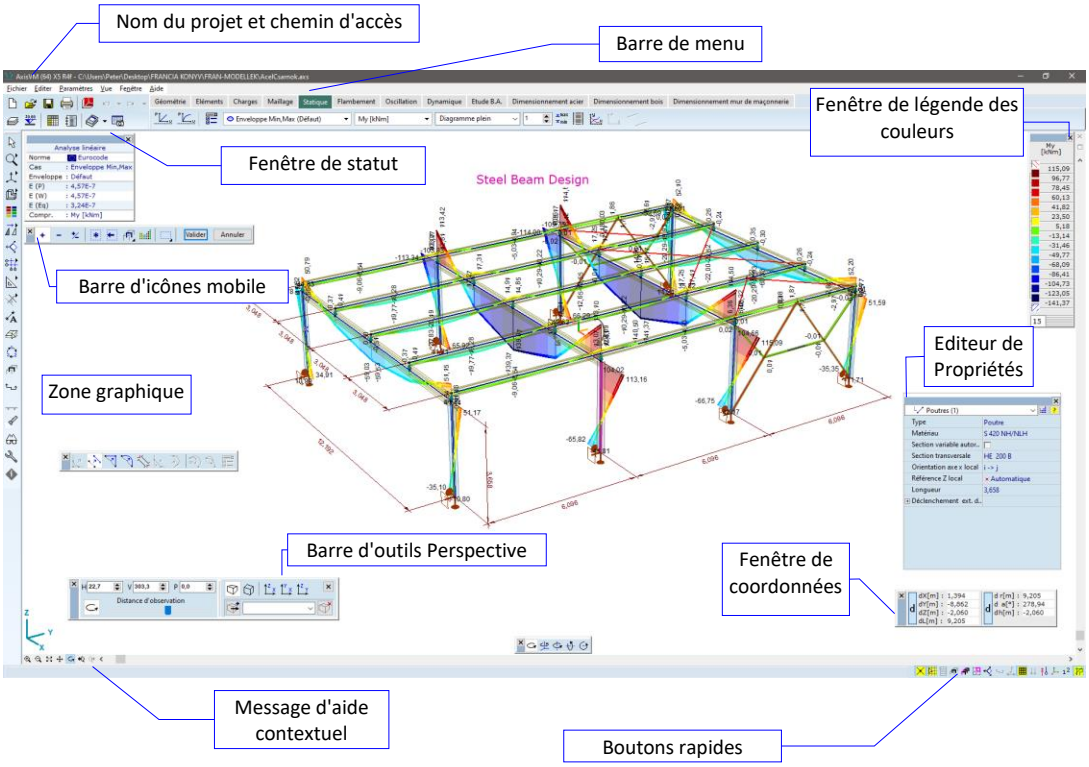
Maillage automatique sur les macro quadrilatères et triangles



Dans le cas des ossatures (poutres, poteaux, ou fermes), le maillage est constitué des axes des éléments.



4.2. L'éditeur de projet



Lorsque AxisVM démarre, l'interface utilisateur graphique est prête pour l'édition de la géométrie. Dans le cas d'un nouveau projet, les vues X-Y, X-Z ou en perspective peuvent être définies comme vues par défaut. Dans le cas d'un projet existant, les derniers paramètres de la vue seront chargés.
En utilisant la barre d'outils horizontale en haut de la zone graphique, vous pouvez appliquer diverses commandes pour construire des maillages géométriques décrivant la géométrie de votre projet d'éléments finis.
Voir... *4.8. Barre d'outils de géométrie*

La barre d'icônes verticale de gauche Cette commande vous permet d'appliquer des commandes qui modifient l'affichage du projet et de configurer l'environnement de travail de l'éditeur.
Voir... *2.16. La barre d'icônes*

4.2.1. Mode multi-fenêtres

Lorsque le projet est complexe, il est utile d'afficher simultanément à l'écran différentes vues du projet. AxisVM Cette commande vous permet de diviser la zone graphique horizontalement ou verticalement. Chaque fenêtre graphique nouvellement créée possède ses propres paramètres et permet l'affichage indépendant des vues du projet. Cette fonction est également utile pour l'interprétation des résultats. Vous trouverez les commandes de division dans le menu *Fenêtre*.

Diviser horizontalement

Divise la fenêtre graphique active horizontalement en deux parties égales. La fenêtre supérieure devient la fenêtre active.

Voir... *3.6.4. Diviser horizontalement*

Diviser verticalement

Divise la fenêtre graphique active verticalement en deux parties égales. La fenêtre de gauche devient la fenêtre active.

Voir... *3.6.5. Diviser verticalement*

Fermer la fenêtre

Ferme la fenêtre active si plusieurs fenêtres graphiques sont utilisées.
La nouvelle fenêtre par défaut sera celle dans laquelle vous avez travaillé précédemment.

Vous pouvez changer de vue pendant toute commande d'édition.

☞ **Dans la vue en perspective, certaines commandes d'édition ne peuvent pas être utilisées, ou sont limitées dans leur exploitation.**

4.3. Systèmes de coordonnées

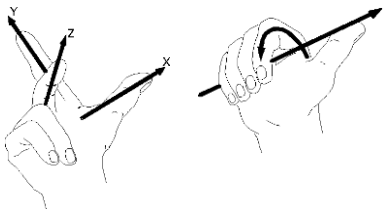
AxisVM utilise différents systèmes de coordonnées, pour décrire le projet. Le système de coordonnées global est utilisé pour décrire la géométrie du projet. Les systèmes de coordonnées locaux sont principalement utilisés dans les définitions des éléments. Les systèmes locaux sont généralement définis par la géométrie de l'élément et des références supplémentaires. AxisVM désigne les axes du système global par des lettres majuscules et les axes locaux par des lettres minuscules.
La géométrie peut être créée à l'aide de systèmes de coordonnées cartésiennes, cylindriques ou sphériques.

Voir... *4.3.2. Système de coordonnées polaires*

4.3.1. Système de coordonnées cartésiennes

Système de coordonnées de base

AxisVM utilise des coordonnées cartésiennes pour stocker des données géométriques. AxisVM utilise la règle de la droite exclusivement pour définir les directions positives des axes et de la rotation. L'illustration montre les directions positives des axes et de la rotation selon la règle de droite.



Origine globale et relative

Un nouveau projet utilise la vue sélectionnée dans le dialogue Nouveau projet (voir... *3.1.1. Nouveau projet*).
L'origine du système de coordonnées est indiquée par un X bleu situé initialement dans le coin inférieur gauche de la fenêtre de l'éditeur.
Un système global fixe (X, Y, Z) et un système global relatif (dX, dY, dZ) sont utilisés pour localiser des points (nœuds) dans votre projet. L'origine du système relatif peut être déplacée n'importe où (en utilisant **[Alt]+[Maj]** ou **[Insert]**), à tout moment pendant la modélisation.
La fenêtre de coordonnées affiche les coordonnées globales fixes ou relatives selon ses paramètres actuels. Si le mode relatif est sélectionné, la désignation des axes devient dX, dY, dZ.
À l'aide de la fenêtre de coordonnées, et en fonction du mouvement de l'origine relative, vous pouvez effectuer des mesures sur le projet (distances, angles).
Les déplacements nodaux et les formes de mode font référence au système mondial fixe.

☞ **Dans les vues X-Y et Y-Z, le troisième axe (normal au plan de la vue) est orienté vers vous. Par conséquent, lorsqu'une copie est faite par translation avec un incrément positif autour du troisième axe respectif, les copies seront placées plus près de vous. Dans la vue X-Z, l'inverse se produit car le troisième axe dans ce cas pointe dans la direction opposée.**
Voir... *4.9.22. Références*

4.3.2. Système de coordonnées polaires

En plus du système de coordonnées cartésiennes globales, vous pouvez utiliser un système de coordonnées cylindriques ou sphériques. L'un des systèmes de coordonnées polaires peut être sélectionné par le biais du bouton radio correspondant dans *Paramètres / Options / Édition / Coordonnées polaires.*

Dans la fenêtre des coordonnées, trois variables seront affichées en fonction de la sélection:

Cylindrique

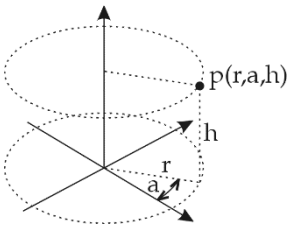
- *h:* la valeur mesurée du plan de vision à un point sur l'axe principal du cylindre (qui est perpendiculaire au plan de vision) orienté vers l'extérieur de l'écran
- *r:* rayon qui est la distance sur le plan de vue entre la projection du point et l'axe principal du cylindre
- *a:* l'angle entre la ligne qui relie le point à l'origine et l'horizontale

Sphérique

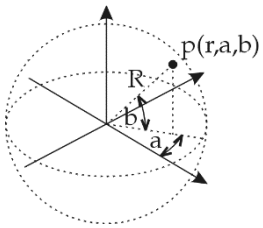
r: le rayon, c'est-à-dire la distance entre le point et le centre de la sphère (origine)

a: l'angle sur le plan de vue entre la ligne qui joint la projection du point avec l'origine et l'horizontale

b:l' angle entre la ligne qui relie le point à l'origine et le plan de vue, qui est positif si le point est en face du plan de vue (entre l'utilisateur et le plan de vue).

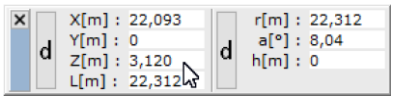


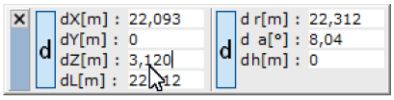
Système de coordonnées cylindriques



Système de coordonnées sphériques

4.4. Fenêtre de coordonnées





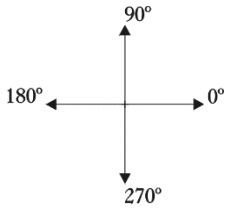
Affiche les valeurs absolues et relatives actuelles de la position du curseur dans le système de coordonnées global (cartésien et cylindrique ou sphérique).

Vous pouvez passer de l'affichage des coordonnées absolues à celui des coordonnées relatives, en cliquant sur les lettres *d dans* la fenêtre des coordonnées (case à cocher delta). L'affichage des *d indique* également si les coordonnées relatives sont activées ou non.

Pendant l'édition, il est possible de sauter dans la fenêtre des coordonnées par des raccourcis. L'affectation par défaut peut être modifiée, voir... *3.3.12. Raccourcis clavier*

Coordonner la commande	*Raccourci*
X	**X**
Y	**Y**
Z	**Z**
L	**[Maj]+Ctrl+L**
r	**[Maj]+Ctrl+R**
a	**[Maj]+Ctrl+A**
h	**[Maj]+Ctrl+H**
b	**[Maj]+Ctrl+B**
Plan de travail temporaire	**[Maj]+Ctrl+W**
verrouiller X	**Ctrl+Alt+X**
verrouiller Y	**Ctrl+Alt+Y**
verrouiller Z	**Ctrl+Alt+Z**
verrouiller L	**Ctrl+Alt+L**
verrouiller r	**Ctrl+Alt+R**
Verrouiller a	**Ctrl+Alt+A**
verrouiller h	**Ctrl+Alt+H**
verrouiller b	**Ctrl+Alt+B**
Coordonnées relatives / globales (click sur delta)	**[Maj]+D**
Coordonnées polaires relatives / globales	**[Maj]+E**

Les angles positifs,:



☞ **La case à cliquer (delta) peut être utilisé en même temps que les mouvements contraints du curseur.**

Voir... **4.7.4**. *Mouvements contraints du curseur*.

☞ **Vous pouvez saisir des expressions dans les champs d'édition (par exemple: 12.927+23.439, cos(45), sin(60))**

4.5. Trame

Voir en détail... *2.16.19.1*. *Trame et curseur*

4.6. Pas du curseur

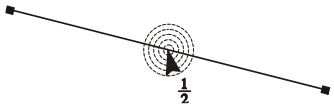
Voir en détail... *2.16.19.1*. *Trame et curseur*

4.7. Outils d'édition

Des outils d'édition facilitent le travail par plusieurs fonctionnalités. Voir... *2.16.19.2 Edition*

4.7.1. Identification du curseur

Définit la taille de la zone d'identification du curseur (en pixels).



Lorsque vous positionnez le curseur sur la zone graphique, AxisVM trouve l'entité du projet qui est la plus proche du centre du curseur parmi les entités qui sont situées dans la zone d'identification ou qui la croisent. La taille de la zone d'identification peut être définie dans *Paramètres / Options / Edition / Identification du curseur*.

La forme actuelle du curseur indique quel type d'entité a été identifié. Selon le type d'entité, le curseur aura les formes suivantes:

Nœud

Nœud central

Appui

Rotule de bord

Charge indépendante de la maille

Sommet de chargement du polygone

Centre d'un arc

Arc

Tangente

Courbe de Bézier

Références

Ligne

Surface

Domaine

Élément rigide 

Élément ARBO 

Élément CRET 

Zone de texte, annotation 

Domaine d'armature, zone solide AirDeck 

Bord, coin d'une semelle ponctuelle 

Bord, coin d'une semelle filante 

Joint boulonné SC1 

Poutre virtuelle ou semelle filante virtuelle 

Ligne guide 

Trame structurelle 

Intersection 

Perpendiculaire (normal) 

Cotation 

En cas de fonction ramasser 

S'il y a plusieurs entités au même endroit, le programme identifie la première entité selon l'ordre de la liste ci-dessus. S'il y a plusieurs entités du même type, le curseur affichera un double symbole.

☞ **Utilisez la fenêtre de coordonnées pour savoir lequel des éléments a été efficacement identifié.**

Détection de l'arrière-plan

Le curseur peut être réglé pour détecter les lignes sur les calques d'arrière-plan de l'architecture.

4.7.2. Saisie numérique des coordonnées

Lors de l'édition du projet, les coordonnées du curseur peuvent être spécifiées en entrant directement les valeurs numériques dans la fenêtre des coordonnées. Il y a deux façons d'entrer les valeurs numériques:

1. en appuyant sur la touche du caractère correspondant sur le clavier
2. en cliquant avec le bouton gauche sur le champ d'affichage de la valeur des coordonnées souhaitée, puis en tapant la valeur.

Si le mode relatif est activé (la lettre *d est* enfoncée), les coordonnées que vous entrez définiront un point à partir de l'origine relative.
Si des valeurs contradictoires sont saisies (en cas de contrainte), la dernière valeur saisie mettra à jour les autres.

☞ **Vous pouvez saisir des expressions dans les champs d'édition (par exemple: 12.927+23.439, cos(45), sin(60))**

L'origine relative peut être déplacée à tout moment à la position actuelle du curseur de la souris en appuyant sur la touche Insérer. Ainsi, lorsque vous dessinez une polyligne, vous pouvez spécifier les coordonnées du point final par rapport au point précédent.

☞ **Pour tracer une ligne d'une longueur et d'une direction données, déplacez-vous vers l'origine relative au point de départ (en utilisant [Alt]+[Maj] ou [Insert]), saisissez l'angle à d a[°] et la longueur à d r[m] puis appuyez sur la touche Entrée.**

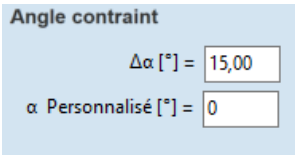
4.7.3. Mesure d'une distance

La distance entre deux points ou la longueur d'une ligne peut être mesurée en déplaçant l'origine relative sur le premier point, puis en identifiant le second point en positionnant le curseur dessus. Dans ce cas, la valeur de *dL dans* la fenêtre de coordonnées est la distance entre les points.

Le curseur peut être déplacé vers un emplacement par rapport à un point de référence en déplaçant l'origine relative sur le point de référence, puis en saisissant l'angle dans le champ de saisie *da* et la distance dans le champ de saisie *dr*.

4.7.4. Mouvements contraints du curseur

Les contraintes de déplacement du curseur peuvent être personnalisées dans la boîte de dialogue *Paramètres / Options / Édition*. Les mouvements contraints du curseur utilisent les valeurs suivantes:



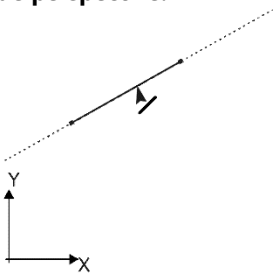
Δα En maintenant la touche **[Maj]** enfoncée, le curseur se déplace le long d'une ligne qui relie sa position actuelle à l'origine, et qui a un angle de *n**Δα, où la valeur de *n dépend de la* position actuelle du curseur.

Personnalisation α En maintenant la touche **[Maj]** enfoncée, le curseur se déplace sur une ligne qui relie sa position actuelle à l'origine et qui a un angle de ou *α+α n*90°*, où la valeur de n dépend de la position actuelle du curseur.
Δα et *α*peut être réglé dans *Paramètres/Options/Modification/Angle de contrainte*.

La signification de l'origine dépend des cases à cocher *d de* la palette de coordonnées. En désactivant les deux, l'origine sera l'origine globale. En activant l'un des cases à cocher *d, l'origine* sera l'origine locale.

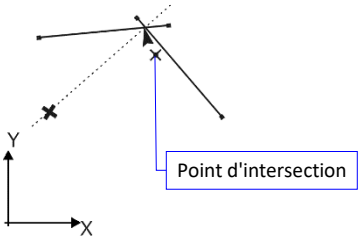
☞ **Vous ne pouvez pas utiliser les contraintes *Δα* et *α personnalisé* en vue de perspective.**

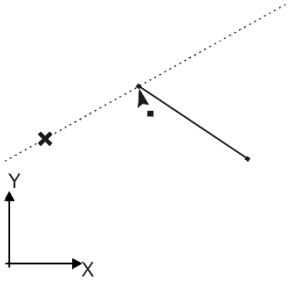
Si le curseur se trouve sur une ligne, le fait de maintenir la touche **[Maj]** enfoncée limitera le mouvement du curseur à la ligne et à son extension .

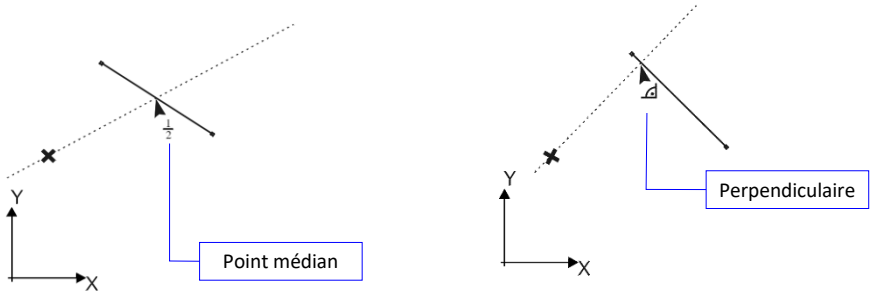


Si le curseur identifie un point, en maintenant la touche **[Maj]** enfoncée, le curseur se déplace le long de la ligne définie par le point et l'origine relative.

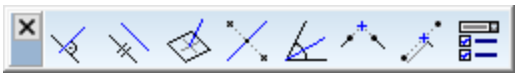
Lorsque le curseur identifie un **domaine ou un élément surfacique, la** touche **[Maj] permet de** déplacer le curseur dans le plan de l'élément**.**







Outils de géométrie



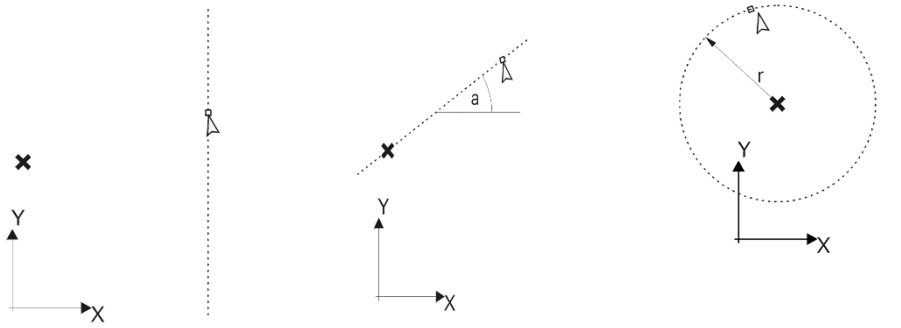
Les icônes des *outils de géométrie* Cette commande vous permettent de verrouiller le sens du tracé d'une ligne.
Voir... *2.16.10. Outils de géométrie*

4.7.5. Gel des coordonnées

Vous pouvez verrouiller la valeur d'une coordonnée, ce qui permet un meilleur positionnement. Une coordonnée verrouillée ne changera pas lors du déplacement du curseur. Le verrouillage peut être réalisé en utilisant respectivement **[Ctrl+Alt] + [X], [Y], [Z], [L], [R], [A], [B], [H].**

Un rectangle noir au-dessus du champ de saisie des coordonnées indique que la coordonnée est verrouillée. Pour annuler le verrouillage des coordonnées, appuyez sur la même combinaison de touches que celle qui a été utilisée pour le verrouiller.

Coordonnée X gelée *Angle gelé* *Rayon gelé*



4.7.6. Intersection automatique

Au point d'intersection des lignes, un nœud sera généré et les lignes seront coupées en deux. Si les surfaces sont coupées par des lignes, elles seront divisées et les éléments résultants auront les mêmes propriétés de matériau et de section transversale que l'original. Définissez les options d'intersection des lignes dans *Paramètres / Options / Edition / Intersection automatique*. Voir... *2.16.19.2 Edition*
Si Auto-Intersection est activé, les surfaces seront divisées en surfaces plus petites si nécessaire. Les éléments finis surfacique sont également divisés et les nouveaux éléments héritent des propriétés et des charges de l'élément d'origine.

4.8. Barre d'outils de géométrie



Ces boutons d'outils permettent de créer une nouvelle géométrie ou de modifier celle qui existe.

☞ **Si vous travaillez sur des pièces et que l'option** *Paramètres / Options / Edition / Automatique/ Gestion des pièces* **est cochée, toutes les nouvelles entités géométriques seront ajoutées aux pièces actives.**

Les entités géométriques peuvent également être sélectionnées avant d'appliquer les commandes de construction de la géométrie.

4.8.1. Nœud (Point)



Cette commande vous permet de placer de nouveaux nœuds ou de modifier les nœuds existants.
Pour placer un nœud:

1. Déplacez le curseur graphique à l'endroit souhaité et appuyez sur la touche **[Espace]** ou sur le bouton gauche de la souris (en perspective, vous ne pouvez placer les nœuds qu'à des endroits particuliers).
2. Entrez les coordonnées du nœud sous forme numérique dans la fenêtre des coordonnées, puis appuyez sur **[Espace]** ou **[Entrée]** (cela fonctionne dans toutes les vues).

Vous pouvez placer un nœud sur une ligne ou une surface. Si la case à cocher *Paramètres / Options / Edition / Intersection automatique* est activée, la ligne ou la surface sera divisée par le nouveau nœud, sinon elle reste indépendante de la ligne.

☞ **Si les nœuds sont générés plus près les uns des autres que la tolérance spécifiée dans** *Paramètres / Options / Edition / Tolérance d'édition*, les **nœuds seront fusionnés.**
Lorsque vous travaillez sur des pièces avec l'option Paramètres / Options / Edition / Auto / Gestion des pièces activée, **toutes les entités géométriques créées seront automatiquement ajoutées aux pièces actives.**

4.8.2. Ligne



L'outil Ligne permet de construire des lignes ou d'autres formes simples. Le type linéaire peut être choisi en cliquant sur la flèche dans le coin inférieur droit de l'icône de l'outil Ligne actuellement utilisé, puis en cliquant sur l'icône souhaitée.

L'outil Ligne offre les options suivantes pour dessiner des formes simples:



Ligne



Construit des lignes droites en définissant leurs points d'extrémité (nœuds). Vous devez spécifier graphiquement ou numériquement (par la fenêtre de coordonnées) les points d'extrémité (nœuds). La commande Cette commande vous permet de générer une ou plusieurs lignes indépendantes. Vous pouvez annuler le processus en appuyant sur la touche **[Echap]** ou sur le bouton droit de la souris.
En perspective, les lignes sont tracées par défaut sur le plan Z = 0. Pour dessiner des lignes en perspective dans un autre plan, des plans de travail peuvent être utilisés.
Voir... *2.16.7. Plans de travail.*

Polyligne Construit une série linéaires droites connectées (une polyligne). Vous devez spécifier les sommets.



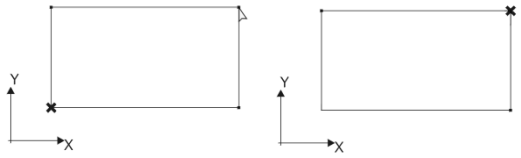
Sortir de la polyligne actuelle par l'un des moyens suivants

1. Touche **[Echap].**
2. La touche **[Echap] permet de** quitter une seconde fois le mode de dessin de polylignes.
3. Bouton droit et *menu contextuel/Annuler*
4. bouton gauche en pointant sur le dernier point (nœud) de la polyligne en cours.

Rectangle



Construit un rectangle (ses points d'angle (nœuds) et ses lignes de bordure). Vous devez spécifier deux points d'angle opposés.

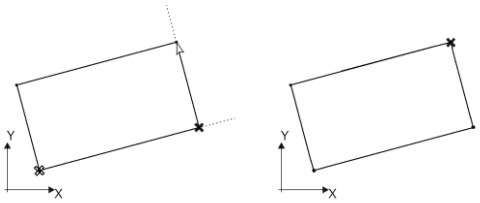


Après avoir indiqué le premier coin, vous pouvez annuler la commande en appuyant sur la touche **[Echap].** Cette commande n'est pas disponible en vue perspective.

Rectangle incliné



Construit un rectangle incliné (ses points d'angle (nœuds) et ses lignes de bordure). Vous devez spécifier l'un de ses côtés (par ses extrémités), puis l'autre côté.



Après avoir spécifié le premier coin, vous pouvez annuler la commande en appuyant sur la touche **[Echap].**
En perspective, vous pouvez dessiner des rectangles obliques en utilisant uniquement les points existants.

Polygone



Le nombre de côtés doit être défini dans un dialogue. Le polygone doit être défini en entrant un point central et deux points d'arc

Polygone



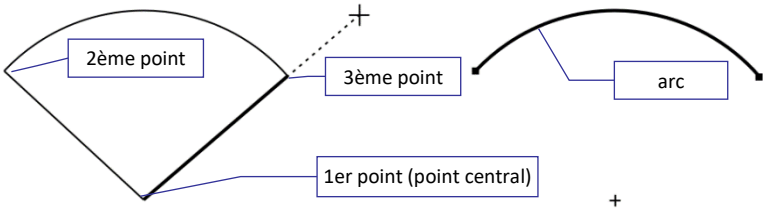
Le nombre de côtés doit être défini dans un dialogue. Le polygone doit être défini en entrant trois points de l'arc.

4.8.3. Arc

Dessine un arc ou un cercle. Les arcs et les cercles seront affichés sous forme de polygones selon la *résolution de l'arc* définie *Paramètres / Préférences / Affichage*.
[Echap] annule la commande.

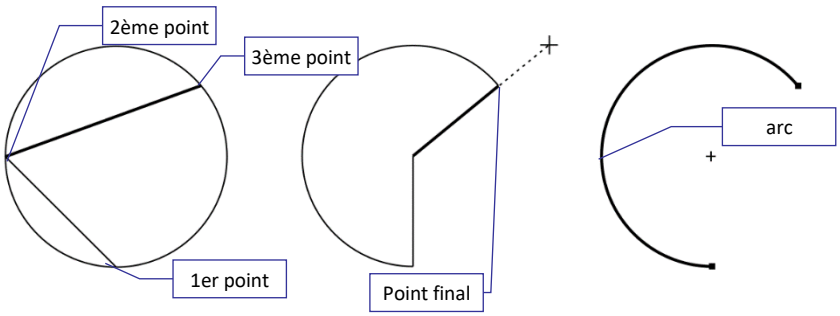


Définition d'un arc par son rayon, et ses points de départ et d'arrivée.





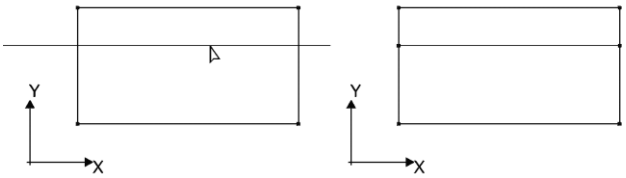
Définition d'un arc par trois points. La commande peut également être appliquée à la mise en perspective.



4.8.4. Division horizontale



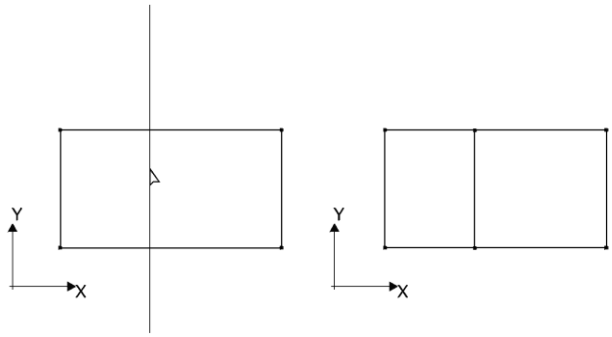
Cette fonction crée une ligne de séparation horizontale passant par la position du curseur. Cette ligne se trouve dans un plan parallèle au plan X-Y, X-Z ou Y-Z selon la vue réelle (ou parallèle au plan de travail si un plan de travail est utilisé). Crée de nouveaux nœuds aux intersections. Si des éléments finis sont intersectés, les nouveaux éléments héritent des propriétés et des charges de l'élément original.



4.8.5. Division verticale



Cette fonction crée une ligne de séparation verticale passant par la position du curseur. Cette ligne se trouve dans un plan parallèle au plan X-Y, X-Z ou Y-Z selon la vue réelle (ou parallèle au plan de travail si un plan de travail est utilisé). Crée de nouveaux nœuds aux intersections. Si des éléments finis sont intersectés, les nouveaux éléments héritent des propriétés et des charges de l'élément original.



4.8.6. Division quadrilatère/triangle

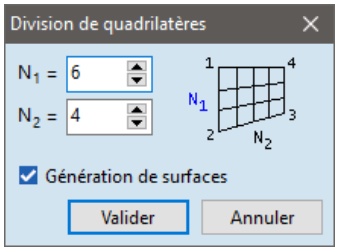


La visibilité de ces icônes est contrôlée par l'option *Paramètres/Préférences/Barre d'outils/Montrer les anciens outils d'éléments surfaciques dans la barre d'outils*.
Construit un maillage de quadrilatère/triangle sur un quadrilatère ou un triangle. Cette commande consiste à générer un maillage macro avant d'appliquer une commande de génération de maillage par éléments finis. Si le maillage est suffisamment fin, il peut être utilisé directement comme maillage d'éléments finis. La commande *Génération de surfaces* permet de créer des éléments surfaciques à partir des triangles ou des quadrilatères. L'introduction des domaines et du maillage automatique a rendu cette méthode obsolète.

Quadrilatère en quadrilatères



Génère un maillage de $n \times m$ entre les coins d'un quadrilatère 3D (pas nécessairement plat, ou avec des lignes latérales). Vous devez successivement sélectionner graphiquement les coins (quatre points), et spécifier le nombre de segments ($N_1 \geq 1$) entre les coins 1 et 2, et le nombre de segments ($N_2 \geq 1$) entre les coins 2 et 3.



Le quadrilatère et le maillage sont affichés avec des lignes grises continues.

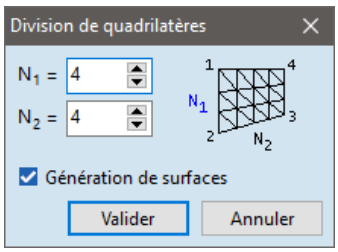
Si le maillage conduit à des subdivisions du quadrilatère qui sont déformées (ont un angle inférieur à 30° ou supérieur à 150°), le quadrilatère est affiché avec des pointillés gris.
Si une forme de quadrilatère est saisie qui n'est pas autorisée (par exemple concave), le quadrilatère est affiché avec des pointillés rouges.

Quadrilatère en-triangles



La commande est similaire à la commande quadrilatère en quadrilatère, mais chaque quadrilatère généré est divisé en deux triangles par sa diagonale la plus courte.
Le quadrilatère et le maillage sont affichés avec des lignes grises continues.

Si le maillage conduit à des subdivisions triangulaires déformées (ayant un angle inférieur à 15° ou supérieur à 165°), le quadrilatère est affiché avec des pointillés gris.

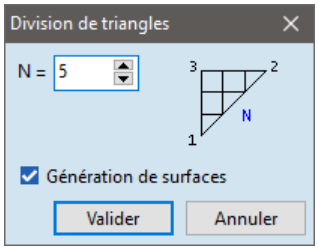


Si une forme de quadrilatère est saisie qui n'est pas autorisée (par exemple concave), le quadrilatère est affiché avec des pointillés rouges.

Triangle en quadrilatères



Construit un maillage entre les coins d'un triangle (pas nécessairement avec des lignes latérales). Le maillage contiendra également des triangles le long du côté qui correspond aux deux premiers coins saisis. Vous devez sélectionner graphiquement les coins successivement (trois points), et spécifier le nombre de segments *N* entre les coins.



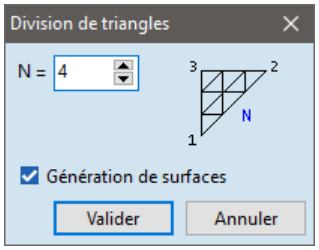
Le triangle et la maille sont affichés avec des lignes grises continues.

Si la maille conduit à des subdivisions en quadrilatère qui sont déformées (ont un angle inférieur à 30° ou supérieur à 150°), ou à des subdivisions en triangle qui sont trop déformées (ont un angle inférieur à 15° ou supérieur à 165°), le triangle est affiché avec des pointillés gris.
Si une forme de quadrilatère non autorisée est saisie (par exemple trois coins colinéaires), le triangle est affiché avec des pointillés rouges.

Triangle-en-triangles



La commande est similaire à la commande de triangle à quadrilatère, sauf que chaque quadrilatère généré est divisé en deux triangles par ses diagonales qui sont parallèles au premier côté entré.



Même chose que pour les triangles à quadrilatères.

4.8.7. Intersection



Si la case à cocher *Paramètres / Options / Edition / Intersection automatique* n'était pas activée dans la fenêtre de dialogue au moment de la création de l'entité géométrique, cette commande Cette commande vous permet d'intersecter les lignes sélectionnées. L'intersection peut être filtrée par types d'éléments dans une boîte de dialogue. Les lignes sélectionnées seront divisées en créant des nœuds (points) à leurs intersections.
Si des éléments finis sont attribués aux lignes, les éléments finis sont également divisés et héritent des propriétés et des charges de l'élément original.

Vous pouvez sélectionner des éléments pour l'intersection au préalable.

4.8.8. Supprimer nœud



Supprime les nœuds sélectionnés aux intersections des lignes. Il facilite la construction de fermes qui se croisent sans se croiser ou la suppression des points de division inutiles le long d'une ligne.

Les nœuds d'intersection ne peuvent être supprimés que si le nombre linéaires de connexion est pair et que les lignes peuvent être jointes.

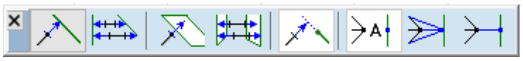
4.8.9. Supprimer les nœuds intermédiaires



Supprime les nœuds intermédiaires inutiles sur les lignes. Les nœuds comportant deux lignes de raccordement sont supprimés à condition qu'ils puissent être reliés.

4.8.10. Prolonger les lignes pour rejoindre d'autre ligne ou un autre plan





Prolonge les lignes droites ou les arcs existants pour rencontrer une autre ligne droite, un autre arc ou un autre plan.

Modes d'extension



Prolonger les lignes afin de rencontrer une autre ligne
La première étape consiste à spécifier la limite: cliquez sur une ligne ou un arc existant ou entrez deux points d'une ligne de limite imaginaire. Cliquez sur les lignes proches de leur point d'extrémité pour les prolonger.



Prolonger les lignes afin de rencontrer plus d'une ligne
La première étape consiste à cliquer sur plusieurs lignes définissant la limite. Cliquez sur VALIDER dans la barre d'outils de sélection ou appuyez sur Entrée. Sélectionnez les lignes à étendre. Cliquez sur VALIDER dans la barre d'outils de sélection ou appuyez sur la touche Entrée. Les deux extrémités des lignes seront prolongées pour atteindre la limite.



Prolonger les lignes afin de rencontrer un plan
La première étape consiste à spécifier le plan limite: cliquez sur un domaine existant ou entrez trois points non colinéaires d'un plan limite imaginaire. Cliquez sur les lignes proches de leur point d'extrémité pour les prolonger.



Prolonger les lignes afin de rencontrer plus d'un plan
La première étape consiste à cliquer sur plusieurs domaines définissant la limite. Cliquez sur VALIDER dans la barre d'outils de sélection ou appuyez sur Entrée. Sélectionnez les lignes à étendre. Cliquez sur VALIDER dans la barre d'outils de sélection ou appuyez sur la touche Entrée. Les deux extrémités des lignes seront prolongées pour atteindre les limites.

Paramètres



Prolonger les lignes même s'il n'y a pas d'intersection réelle
Il s'agit d'un bouton à deux états. S'il est en bas (son fond devient blanc), les lignes seront prolongées même si le point d'intersection ne se trouve pas entre le début et la fin de la ligne de délimitation. S'il est en haut (son fond est bleu), les lignes ne seront prolongées que si le point d'intersection se trouve sur la ligne de démarcation.

Les trois derniers boutons contrôlent le comportement des lignes connectées au point étendu.



Déplacer les extrémités libres, ajouter une épissure si d'autres éléments sont connectés
Le programme choisit automatiquement parmi les deux options énumérées ci-dessous. Si aucune ligne n'est connectée au point étendu, il choisit la première option, sinon il choisit la seconde.



Toujours déplacer les extrémités des lignes
Le nœud du point étendu est déplacé vers le point d'intersection. La direction des lignes connectées à ce nœud change.



Toujours relier par épissure les extrémités des lignes
Le nœud du point étendu n'est pas déplacé. Un nouveau nœud est créé au point d'intersection et une nouvelle ligne (une épissure) est insérée entre les deux nœuds. Les lignes connectées restent inchangées.

4.8.11. Ajuster les lignes pour rejoindre d'autre ligne ou un autre plan





Ajuste les lignes droites ou les arcs existants pour qu'ils rencontrent d'autres lignes droites, arcs ou plans.

Modes de découpage



Ajuster les lignes afin de rencontrer une autre ligne
La première étape consiste à spécifier la ligne de coupe: cliquez sur une ligne ou un arc existant ou saisissez deux points d'une ligne de coupe imaginaire. Cliquez sur les segments linéaires à supprimer.



Ajuster les lignes afin de rencontrer d'autres lignes
La première étape consiste à cliquer sur plusieurs lignes définissant les lignes de coupe. Cliquez sur VALIDER dans la barre d'outils de sélection ou appuyez sur Entrée. Sélectionnez les lignes à découper. Cliquez sur VALIDER dans la barre d'outils de sélection ou appuyez sur Entrée. Cliquez sur le côté des lignes de coupe où vous souhaitez supprimer les segments linéaires.



Ajuster les lignes afin de rencontrer un plan
La première étape consiste à spécifier le plan de coupe: cliquez sur un domaine existant ou saisissez trois points non colinéaires d'un plan de coupe imaginaire. Si le plan de coupe intersecte les lignes, cliquez sur les segments linéaires à supprimer.



Ajuster les lignes afin de rencontrer plus d'un plan
La première étape consiste à cliquer sur plusieurs domaines définissant les plans de coupe. Cliquez sur VALIDER dans la barre d'outils de sélection ou appuyez sur Entrée. Sélectionnez les lignes à découper. Cliquez sur VALIDER dans la barre d'outils de sélection ou appuyez sur Entrée. Cliquez sur le côté des plans de coupe où vous souhaitez supprimer les segments linéaires.

Paramètres



Ajuster les lignes même s'il n'y a pas d'intersection réelle
Il s'agit d'un bouton à deux états. S'il est en bas (son fond devient blanc), les lignes seront coupées même si le point d'intersection ne se trouve pas entre le début et la fin de la ligne de délimitation. S'il est en haut (son fond est bleu), les lignes seront coupées uniquement si le point d'intersection se trouve sur la ligne de démarcation.

Les trois derniers boutons contrôlent le comportement des lignes connectées à l'extrémité des lignes coupées.
La ligne coupée obtient toujours un nouveau point d'arrivée au point d'intersection.



Déplacer les extrémités libres, enlever le segment si d'autres éléments sont reliés
Le programme choisit automatiquement parmi les deux options énumérées ci-dessous. Si les lignes sont connectées au point étendu, il choisit la deuxième option.



Toujours déplacer les extrémités des lignes
L'extrémité des lignes connectées se déplacera vers la nouvelle extrémité. L'ancien point d'extrémité est supprimé.



Toujours retirer le segment linéaire
Le point d'extrémité initial et les lignes connectées restent inchangés.

4.8.12. Prolonger/couper les lignes jusqu'à leur point d'intersection





Modes



Prolonger/ajuster deux lignes sélectionnées jusqu'à leur point d'intersection
Prolonge/ajuste des paires linéaires sélectionnées consécutivement jusqu'à leur point d'intersection.



Prolonger/ajuster les lignes sélectionnées jusqu'au point d'intersection avec la première
Prolonge/ajuste consécutivement des lignes sélectionnées jusqu'à leur point d'intersection avec la première ligne.

Les deux boutons suivants contrôlent le comportement des arcs où il peut y avoir deux points d'intersection.

Paramètres



Prolonger l'extrémité de l'arc du côté ou l'extension est la plus courte
Le programme choisit toujours l'extrémité où le point d'intersection est le plus proche.



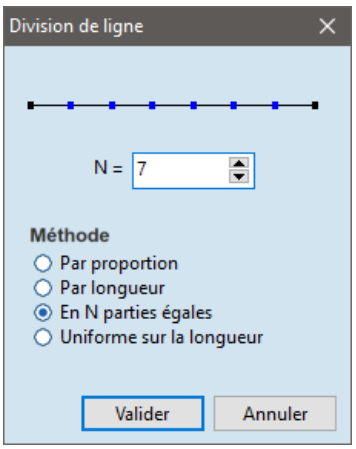
Cliquez pour choisir l'extrémité de l'arc à prolonger
L'extrémité à prolonger peut-être sélectionnée en cliquant près de l'extrémité choisie.

Les trois derniers boutons contrôlent le comportement des lignes connectées selon la description ci-dessus.

4.8.13. Division de la ligne



Cette commande vous permet de créer de nouveaux points (nœuds) sur les lignes sélectionnées.
Les options de saisie suivantes sont disponibles:



Par proportion: Cette commande vous permet de diviser les lignes sélectionnées en deux segments. Vous devez spécifier le paramètre *a de l*'emplacement du nœud inséré par rapport au premier nœud (*i*). Le paramètre *a* doit être compris entre 0 et 1. *a* = 0,5 représente une division des lignes sélectionnées en deux segments égaux.

Par longueur: Cette commande vous permet de diviser les lignes sélectionnées en deux segments. Vous devez spécifier la longueur *(d) du* segment correspondant au premier nœud (*i* end). Le paramètre *d* doit être compris entre 0 et la longueur totale.

En N parties égales: Cette commande vous permet de diviser les lignes sélectionnées en plusieurs segments de longueur égale. Précisez le nombre de segments *(N)*.

Uniforme sur la longueur: Cette commande vous permet de diviser les lignes sélectionnées en plusieurs segments de longueur égale. Précisez la longueur des segments *(d)*.



avant la division



après la division

Si les éléments finis sont divisés, les nouveaux éléments héritent des propriétés et des charges des éléments originaux.

☞ **Si vous divisez les lignes de bord surfacique, les éléments surfaciques seront supprimés.**

4.8.14. Transversale normale



Crée une connexion entre deux lignes le long de leur transversale normale.

4.8.15. Intersection d'un plan avec le projet



Après avoir défini le plan d'intersection, les lignes d'intersection et les nœuds seront ajoutés au projet. Les domaines, les poutres et les nervures seront divisés.

4.8.16. Couper avec un plan le projet et enlever la partie à supprimer

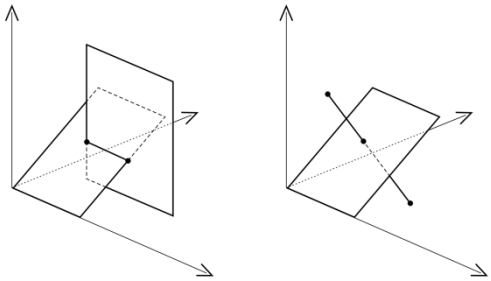


Cette opération est similaire au plan Intersection d'un plan avec le projet, mais après avoir défini le plan, une section transversale peut être sélectionnée. Les éléments à l'intérieur de cette section transversale seront supprimés.

4.8.17. Intersection de domaines



Crée des lignes d'intersection de domaines et d'éléments linéaires. Après avoir cliqué sur le bouton d'outil, sélectionnez les domaines pour créer leur intersection ou sélectionnez un domaine et une ligne pour créer l'intersection.



4.8.18. Purger les lignes et les nœuds inutiles



Cette fonction supprime les nœuds non connectés à un élément (élément linéaire, domaine, appui, etc.) et les lignes sans propriétés d'élément attribuées. Les options possibles sont

Depuis la sélection: Seuls les nœuds et les lignes sélectionnés seront vérifiés.

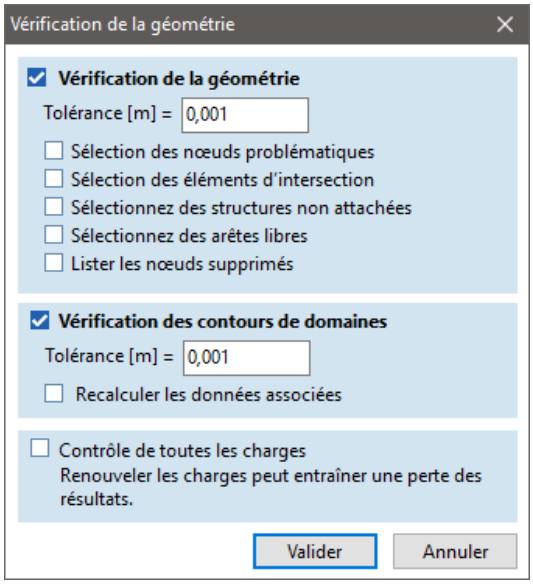
Vérifier aussi les nœuds et les lignes à l'intérieur des domaines: Lorsque des charges indépendantes du maillage sont placées sur le domaine, des nœuds et des lignes supplémentaires peuvent être créés dans le domaine pour guider l'algorithme de maillage. La suppression du maillage ne supprime pas ces nœuds et lignes. Comme ces nœuds et lignes n'ont pas de rôle physique dans le projet, ils sont détectés lors de la purge. En laissant cette option non cochée, ils sont conservés.

Sélectionner mais ne pas supprimer: Les lignes et nœuds inutiles seront sélectionnés et non supprimés.

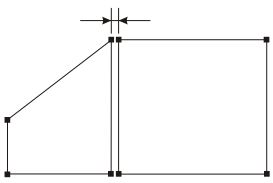
4.8.19. Vérification de la géométrie



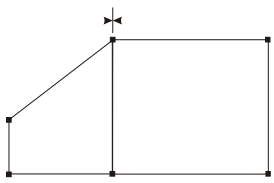
Trouve les nœuds et les lignes non attachés ou dupliqués dans la *tolérance* donnée. Les nœuds plus proches de cette distance sont considérés comme des doublons.
Si la case *Sélection des nœuds problématiques* est cochée, des nœuds plus proches de la *tolérance* seront sélectionnés. Si elle n'est pas cochée, ces nœuds seront supprimés et un nouveau nœud sera créé avec des coordonnées moyennées. La commande indique le nombre de nœuds/lignes fusionnés. Si l'option *Lister les nœuds supprimés* est cochée, une liste des nœuds supprimés est affichée en utilisant les numéros de nœuds *avant* la suppression. Les lignes connectées aux nœuds seront remplacées par une ligne unique vers le nouveau nœud.
Si la case *Sélection des éléments d'intersection* est cochée, elle sélectionne les éléments d'intersection où il n'y a pas de nœud au point d'intersection.



Si la case Sélectionner les structures non attachées est cochée, un avertissement sera affiché s'il y a des lignes ou des nœuds indépendants non connectés au reste de la structure.
La commande *sélectionner les bords libres* sélectionne toutes les arêtes connectées à un seul élément de surface. Cette sélection permet de trouver les arêtes où les maillages de deux domaines ne sont pas connectés en raison d'un problème d'édition.



before checking



after checking

La fonction fixe les contours de domaine en forçant les segments de contour dans le même plan. Elle vérifie les ouvertures et ajuste les arcs si le rayon n'est pas le même au point de départ et au point d'arrivée.

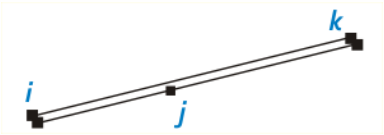
Vérification des contours de domaine

Si cette option est cochée, le programme supprime les zigzags des segments presque droits des contours du domaine si l'écart par rapport à la ligne est inférieur à la *tolérance* définie ici.

Contrôle de toutes les charges

Cette fonction recrée toutes les charges qui dépendent de la géométrie (comme les charges surfaciques réparties sur les poutres ou les charges des plans de chargement). La reconstitution des charges peut entraîner des pertes si elle est effectuée.

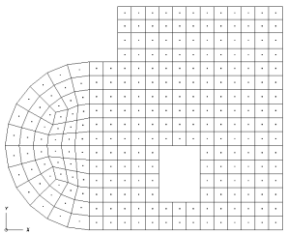
☞ **Le cas à droite n'est pas identifié par la commande Check. Pour éviter d'avoir des lignes cachées, vérifiez** *Paramètres / Options / Édition / Automatique / Intersection* **ou cliquez sur** Intersection dans **la barre d'outils** Géométrie.

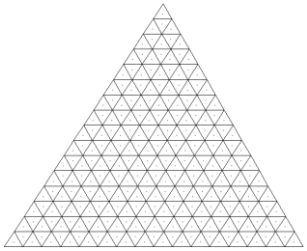


4.8.20. Surface



Dans tous les cas où vous souhaitez modéliser des surfaces (plaques, membranes ou coquilles), vous devez créer un maillage composé de triangles et de quadrilatères plats convexes. Le maillage peut alors être affiné. La commande recherche tous les triangles et quadrilatères dans le maillage linéaires sélectionné. Vous devez sélectionner tous les bords de la surface lors de l'application de la commande. L'introduction des domaines et du maillage automatique a rendu cette méthode obsolète.





Le nombre surfaciques détectées est affiché dans un dialogue d'information.
Les surfaces rapportées sont des surfaces géométriques mais pas des éléments surfacique. Vous pouvez en faire des éléments surfacique en leur attribuant des propriétés de matériau et de section transversale.

☞ **Les quadrilatères doivent être plats. AxisVM ne prend en compte que les surfaces qui ont une mesure hors plan inférieure à la tolérance saisie dans les** *Paramètres / Options / Edition / Tolérance d'édition.*

4.8.21. Modifier, transformer

Permet de modifier des entités géométriques existantes.
Pour modifier des nœuds ou des lignes:

1. placez le curseur sur le nœud/ligne/centre de la surface
2. En maintenant le bouton gauche de la souris enfoncé, faites glisser le nœud/ligne/surface.
3. Faites glisser le nœud/ligne/surface vers sa nouvelle position, ou entrez ses nouvelles coordonnées dans la fenêtre des coordonnées, puis appuyez sur la touche Entrée ou appuyez à nouveau sur le bouton gauche de la souris.

Si plusieurs nœuds et/ou lignes sont sélectionnés, la position de tous les nœuds et lignes sera modifiée.

Modification rapide: En cliquant sur un nœud, vous accédez au navigateur de tableaux où vous pouvez saisir de nouvelles valeurs de coordonnées. Si plusieurs nœuds sont sélectionnés et que vous cliquez sur l'un d'entre eux, tous les nœuds sélectionnés apparaîtront dans le tableau.

Déplacement des nœuds sélectionnés dans le même plan: si le plan est global, vous pouvez facilement déplacer les nœuds sélectionnés dans ce plan.

1. Cliquez sur l'un des nœuds sélectionnés.
2. Sélectionnez la colonne entière de la coordonnée respective.
3. Utilisez l'option *Editer / Définir* une *valeur commune* pour définir une valeur de coordonnée commune.

Exploitation de palettes de dialogue rapides

Selon le type de l'élément trainé, différentes palettes de dialogue rapides apparaissent à l'écran. Leur position peut être réglée dans les *Paramètres / Préférences/ Barre d'outils.* Voir... *3.3.11 Paramètres*

Nœuds trainants



 Déplacer

 Séparer la ligne sélectionnée

 Déplacement parallèle des lignes connectées

 Chanfrein

 Arrondi

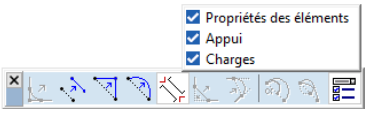
 Tirer sur l'arc

 Séparer

 Modifier arc avec angle central constant

 Modifier arc avec un troisième point constant

 Activé uniquement en mode détachement. Il affiche une liste de propriétés à copier.

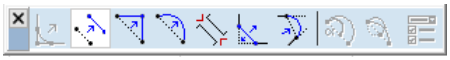


Saisie des coordonnées des nœuds: En cliquant sur un nœud, le tableau des nœuds apparaît, dans lequel les coordonnées peuvent être modifiées. Après avoir sélectionné un ou plusieurs nœuds, leurs coordonnées peuvent également être éditées dans l'éditeur de propriétés.

Exemples d'alignement des nœuds sur un plan si ce plan est parallèle à l'un des plans de coordonnées globales:

1. Sélectionnez les nœuds à aligner.
2. Saisissez la valeur des coordonnées requises dans l'éditeur de propriétés.

Lignes trainantes



 Arrondi

 Déplacement parallèle des lignes

 Casser une ligne

 Conversion en un arc

 Séparer

 Couper

 Arc par deux points d'extrémité et tangentes

 Voir « Faire *glisser les nœuds* »

Modification des arcs



 Arrondi

 Déplacement parallèle de l'arc

 Redresser un arc

 Modifier arc par le troisième point

 Modifier le rayon de l'arc

 Séparer

 Voir « Faire *glisser les nœuds* »

Transformer objets Voir... *2.16.6. Transformations géométriques sur les objets*

4.8.22. Supprimer

[Suppr] Voir en détail... *3.2.9. Supprimer*

4.9. Éléments finis

Les commandes relatives à la définition des éléments finis sont décrites ci-dessous.



Les commandes associées aux icônes Cette commande vous permettent de définir les éléments finis utilisés pour la modélisation. Dans le processus de définition, vous devez définir et attribuer différents ensembles de propriétés.

Propriétés des éléments finis Selon le type d'élément fini, vous devez définir les propriétés suivantes:

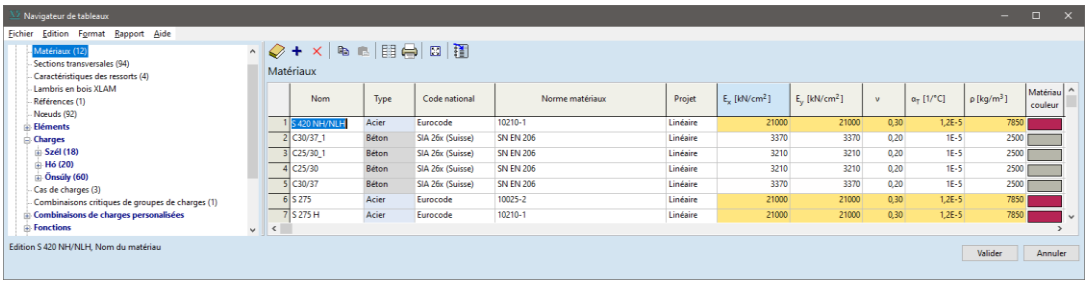
Élément fini	*Matériau*	*Section transversale*	*Référence*	*Rigidité*	*Surface*
Ferme	-•	-•	**o**		
Poutre	-•	-•	-•	**o**	
Nervure	-•	-•	**o**		
Membrane	-•		-•		-•
Plaque	-•		-•		-•
Coque	-•		-•		-•
Appui			-•	-•	
Rigide					
Ressort			**o**	-•	
Élément de contact				-•	
Lien				-•	
Rotule de bord				-•	

o: facultatif

Notez que certains éléments comme les ressorts et les Élément de contact peuvent avoir des propriétés de rigidité élastique non linéaires qui ne sont prises en compte que dans une analyse non linéaire. Dans une analyse linéaire, la rigidité initiale est prise en compte pour l'élément ressort, et la rigidité active ou inactive en fonction de son ouverture initiale pour l'élément de contact

4.9.1. Matériaux

Définir les matériaux



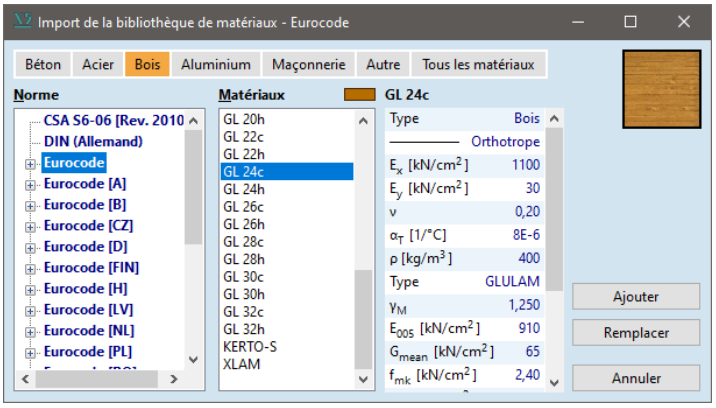
Pour le codage couleur des cellules du tableau et le tri par colonne, voir... *2.9 Navigateur de tableau*

Cette commande vous permet de définir et de sauvegarder des ensembles de propriétés de matériaux ou de les charger à partir d'une bibliothèque de matériaux.
Si vous supprimez un matériau, la définition des éléments avec le matériau respectif sera supprimée.

Parcourir la bibliothèque de matériau

[[Maj]+Ctrl+M]

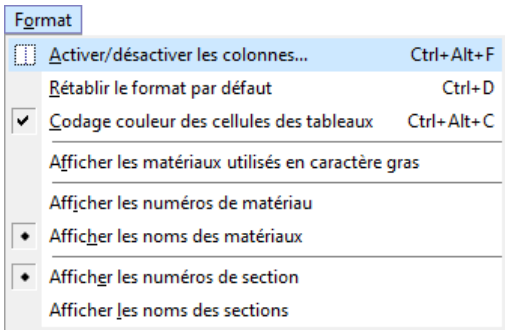
La bibliothèque de matériaux contient les propriétés des matériaux de génie civil basées sur l'Eurocode, le DIN, le NEN, le SIA et d'autres spécifications.



Sélectionnez un type de matériau dans la liste horizontale en haut pour filtrer la liste des matériaux disponibles.

Cliquez sur *Ajouter* pour ajouter un nouveau matériau au tableau des matériaux. Cliquez sur *Remplacer* pour remplacer le matériau de la ligne du tableau actuel.

L'activation de *format / Afficher les matériaux utilisés en gras* permet d'éviter de supprimer un matériau lorsqu'il est en cours d'exploitation.
Les matériaux listés mais non utilisés peuvent être facilement supprimés par la commande *Edition / Supprimer les matériaux non utilisés.*



☞ **Si un type de matériau est supprimé, tous les éléments constitués de ce matériau seront supprimés.**

Propriétés des matériaux

Selon le type d'élément fini, vous devez définir les propriétés du matériau suivantes:

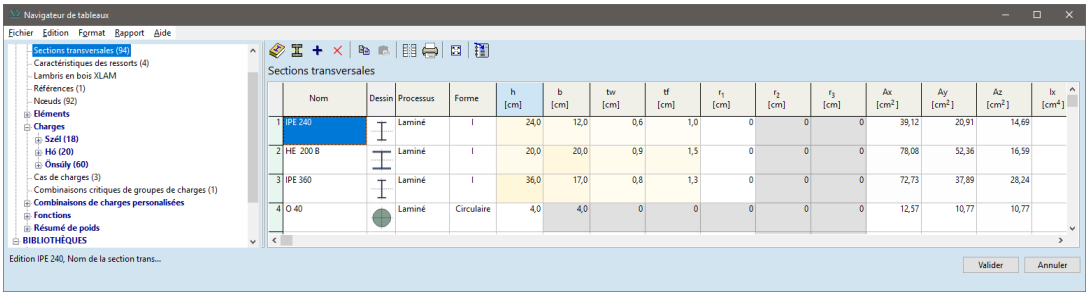
Élément fini	*E*	*ν*	*α*	*ρ*
Ferme	-•		-•	-•
Poutre	-•		-•	-•
Nervure	-•		-•	-•
Membrane	-•	-•	-•	-•
Plaque	-•	-•	-•	-•
Coque	-•	-•	-•	-•
Appui				
Rigide				
Diaphragme				
Ressort				
Élément de contact				
Lien				

L'affichage et la modification des propriétés des matériaux sont décrits au point *3.1.15 Bibliothèque de matériaux*

☞ **Dans AxisVM, tous les matériaux sont considérés comme étant élastiques linéaires (loi de HOVALIDERE) ou plastiques, et isotropes ou orthotropes uniformes (pour les éléments de poutre, de nervure, de membrane, de plaque et de coque).**
Certains éléments peuvent avoir un matériau élastique non linéaire (ferme), ou de la rigidité (Appui, élément de contact, lien, éléments de ressort).
Les modèles de matériaux non linéaires ne sont pris en compte que dans une analyse non linéaire. Dans une analyse linéaire, la rigidité initiale est prise en compte pour les éléments non linéaires.

4.9.2. Sections transversales

Définir les sections transversales



Pour le codage couleur des cellules du tableau et le tri par colonne, voir... *2.9 Navigateur de tableau*.

Permet de définir et de sauvegarder des sections transversales ou de les charger à partir d'une Bibliothèque de sections transversales (voir... *4.9.2.1. Bibliothèques de sections transversales*). Les éléments de poutre, de fermes et de nervures nécessitent une section transversale. Les propriétés sont interprétées dans le système de coordonnées local de l'élément.
Pour les propriétés de la coupe transversale, voir... *3.1.16. Bibliothèque de sections transversales*

☞ **Si vous supprimez une section transversale, la définition des éléments auxquels elle a été affectée sera également supprimée. Les lignes ne seront pas supprimées.**
Vous devez saisir des valeurs pour toutes les propriétés.

Les propriétés de la section transversale sont définies dans le système de coordonnées d'une ferme, une poutre ou une nervure.

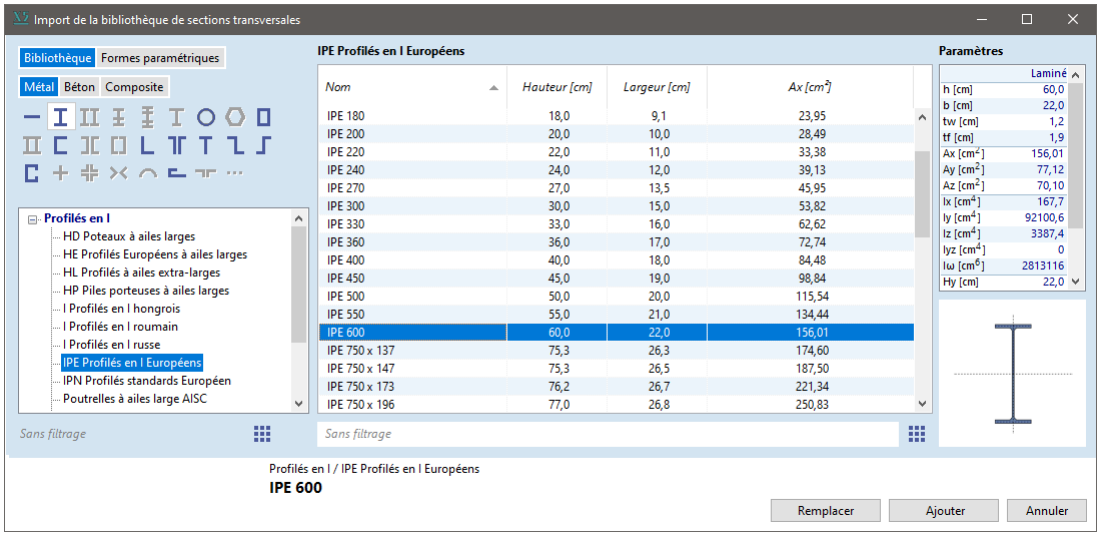
4.9.2.1. Bibliothèques de sections transversales

Une section transversale peut être importée de la base de données de la *bibliothèque* ou peut être définie en entrant des paramètres géométriques décrivant des *formes paramétriques*.

Bibliothèque

Choisissez des sections transversales métal, béton ou composites et cliquez sur la forme souhaitée dans la barre d'outils. L'arbre de gauche énumère les tableaux disponibles pour la forme sélectionnée.
La liste du milieu montre les sections transversales du tableau sélectionné. En cliquant sur l'en-tête de la colonne, la liste est triée par ordre croissant/décroissant selon le paramètre respectif: *Nom, Hauteur, Largeur, Ax* (surface de la section transversale). Une ou plusieurs sections transversales peuvent être sélectionnées. Les paramètres de la section transversale et le dessin apparaissent à droite.
Pour les propriétés de la coupe transversale, voir... *3.1.16. Bibliothèque de sections transversales*

☞ **Si un bouton est désactivé, la bibliothèque ne contient pas de tableaux de sections transversales pour la forme respective. Si vous définissez un tableau de sections transversales personnalisé avec ce type de section transversale, et que vous ouvrez cette boîte de dialogue, le bouton sera activé.**

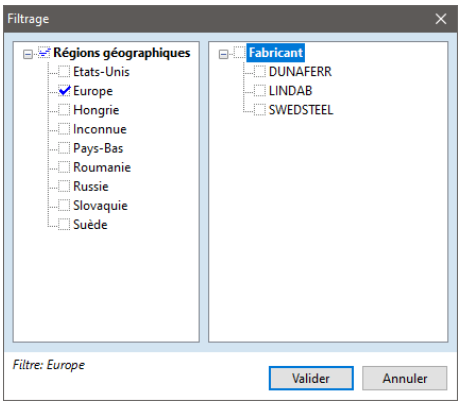


Cliquez sur le bouton "*Remplacer*" pour remplacer la ligne sélectionnée dans le tableau des sections transversales par l'élément sélectionné ici. Cliquez sur le bouton *Ajouter* pour ajouter les éléments sélectionnés dans le tableau des sections transversales. Si plusieurs sections transversales sont sélectionnées, le bouton *Remplacer* sera désactivé.

Filtres

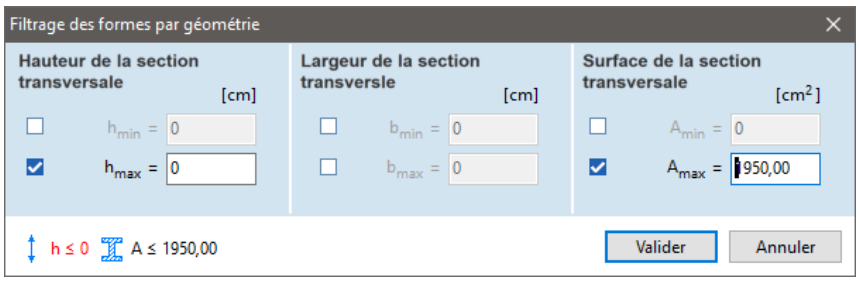


La liste des sections transversales ayant la forme sélectionnée peut être filtrée par régions géographiques et par fabricants. Cliquez sur le bouton *Filtre* sous l'arbre à gauche pour configurer le filtre.



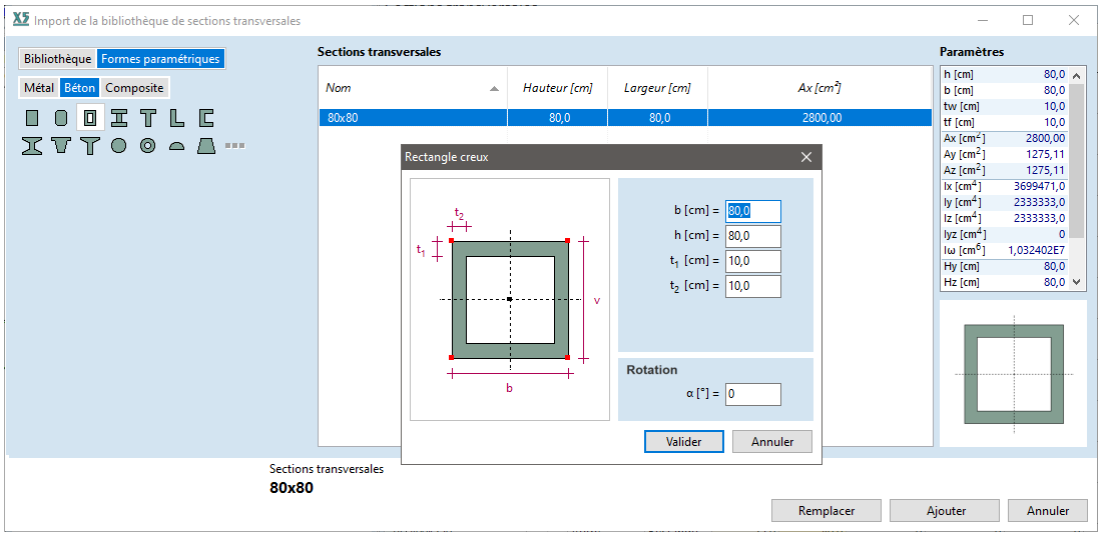
Un autre bouton *Filtre* est situé sous la liste des sections transversales. Cliquez dessus pour définir les critères de filtrage souhaités pour la hauteur, la largeur ou la section transversale minimum/maximum.





Profilés paramétriques

Choisissez des sections transversales métal, béton ou composites et cliquez sur la forme souhaitée dans la barre d'outils pour ouvrir une boîte de dialogue. Définissez les paramètres décrivant la géométrie et cliquez sur VALIDER pour ajouter la section transversale à la liste des sections transversales paramétriques avec un nom généré. Vous pouvez ajouter différentes formes paramétriques à la liste. Double-cliquez sur le nom pour le modifier. Appuyez sur la touche "*Supprimer*" pour supprimer une ou plusieurs sections transversales sélectionnées de la liste.



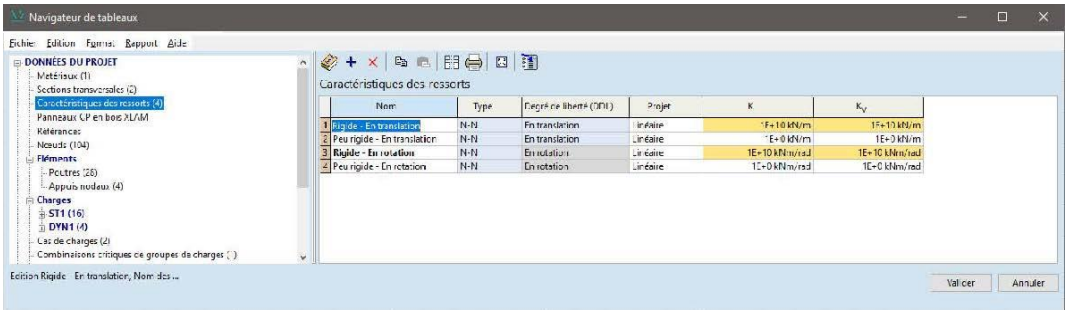
S'il n'y a qu'une seule section transversale dans la liste, cliquez sur le bouton "*Remplacer*" pour remplacer la ligne sélectionnée dans le tableau des sections transversales. Cliquez sur le bouton *Ajouter* pour ajouter toutes les sections transversales de la liste au tableau des sections transversales. Si la liste contient plus d'une section transversale, le bouton *Remplacer* sera désactivé.

☞ **En cas de formes paramétriques, il n'est pas nécessaire de sélectionner des sections transversales dans la liste pour les importer. La liste entière est importée.**

4.9.3. Caractéristiques du ressort

Définir les caractéristiques du ressort

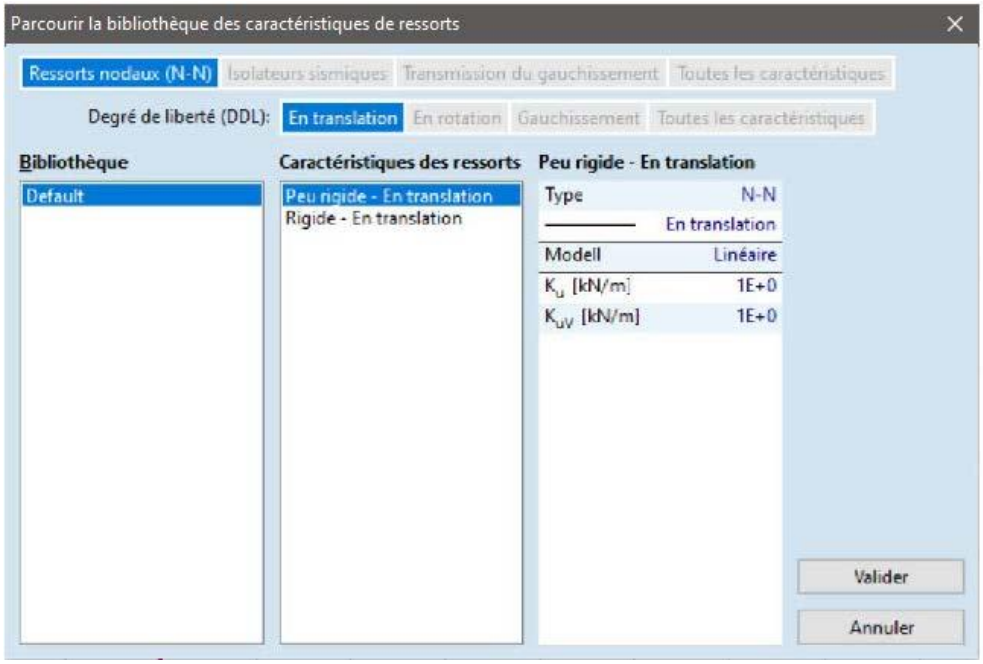
Les nouvelles caractéristiques du ressort peuvent être saisies dans le *navigateur de tableaux* sous *Caractéristiques des ressorts*. Ce tableau indique les caractéristiques du ressort spécifiées dans le projet actuel. Les caractéristiques non utilisées peuvent être supprimées avec la fonction *Edition/Supprimer ressorts non utilisés*.



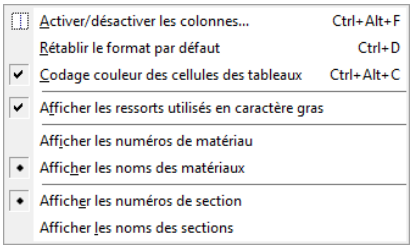


Parcourir la bibliothèque des caractéristiques du ressort

Les caractéristiques du ressort peuvent être sélectionnées dans la *bibliothèque des caractéristiques du ressort*. Une fenêtre avec les bibliothèques et les caractéristiques est affichée. Les caractéristiques du ressort sont listées en fonction du degré de liberté sélectionné (translation, rotation, tous). Les propriétés de la caractéristique sélectionnée sont indiquées dans la troisième colonne.



L'activation de la fonction *Format / Afficher les ressorts utilisés en caractère gras* permet d'éviter de supprimer une caractéristique du ressort lorsqu'il est utilisé.
Les ressorts listés mais non utilisés peuvent être facilement supprimés par la commande *Edition / Supprimer les ressorts non utilisés.*



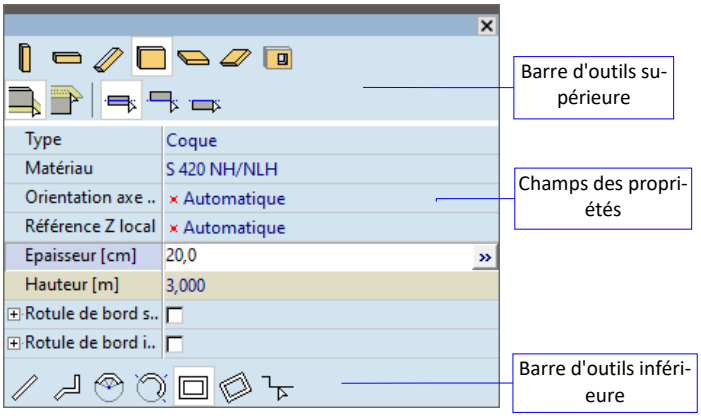
Nouvelle caractéristique de ressort

Spécifier une nouvelle caractéristique de ressort est décrit dans la section transversale *3.1.17. Bibliothèque des caractéristiques de ressorts*

Propriétés des caractéristiques du ressort

Les caractéristiques des ressorts existants peuvent être modifiées en cliquant sur une colonne non modifiable. Dans le dialogue qui apparaît, toutes les propriétés de la caractéristique du ressort peuvent être définies ou modifiées.
Les propriétés des caractéristiques des ressorts sont décrites dans la section transversale *3.1.17. Bibliothèque des caractéristiques de ressorts*

4.9.4. Dessiner directement l'objet



Après avoir cliqué sur l'icône, une barre d'outils de dessin direct et un éditeur de propriétés apparaissent. À l'aide de cette fenêtre, il est possible de dessiner des poteaux, des poutres, des murs, des dalles et des trous. Leurs propriétés peuvent être définies au préalable et modifiées à tout moment pendant le dessin.

La barre d'outils supérieure indique le type d'objet à dessiner et l'orientation de l'objet (pour les poteaux et les murs). Les champs de propriétés peuvent être édités comme dans l'éditeur de propriétés. La barre d'outils inférieure indique les méthodes de dessin disponibles pour l'objet (un segment, une polyligne, un polygone, un rectangle, etc.).
Pour dessiner un trou cliquez sur le contour du domaine afin que le dessin se réalise dans le plan du domaine.

Types d'objets


Poteau (dans le sens global Z)


Poutre (dans le plan global X-Y)


Poutre (spatial)


Mur (toujours vertical avec une hauteur constante, c'est-à-dire que ses bords normaux et supérieurs/inférieurs sont parallèles au plan global X-Y)


Domaine de dalle (parallèle au plan global X-Y)


Domaine surfacique (spatial)


Ouverture

Points de traînée d'objets


Poteau vers le haut / vers le bas


Mur vers le haut / vers le bas


Justification du mur: lors du dessin des murs, il est possible de déterminer si la ligne tracée est la ligne centrale ou le côté gauche/droit du mur (ou le côté intérieur/extérieur dans le cas d'arcs et de rectangles).

Géométrie de l'objet


Poteau


Segment de poutre


Poutre polyligne


Poutre courbe avec point central, point de départ et point d'arrivée

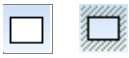

Poutre courbe avec trois points


Poutre ou paroi polygonale

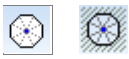

Murs sur rectangle

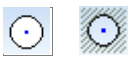

Murs sur rectangle incliné


Murs sur des lignes existantes ou sur les lignes des calques d'arrière-plan


Dalle rectangulaire / ouverture rectangulaire


Dalle rectangulaire inclinée / ouverture rectangulaire incliné


Dalle polygonale / ouverture polygonale

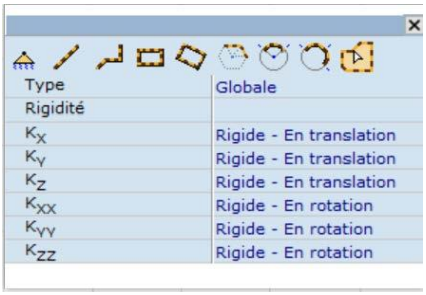

Dalle circulaire / ouverture circulaire


Dalle complexe / ouverture complexe

4.9.5. Dessiner directement les appuis



Cette fonction permet de dessiner directement des appuis nodaux et linéaires avec des propriétés prédéfinies.



 appui nodal

 Appui linéaire, ligne unique

 Appui linéaire, polyligne

 Appui linéaire, rectangle

 Appui linéaire, rectangle incliné

 Appui linéaire, polygone par point central et deux points

 Appui linéaire, arc par point central et deux points

 Appui linéaire, arc de trois points

 Appui linéaire sur les bords du domaine

4.9.6. Domaine



Un domaine est un élément structurel planaire de forme géométrique complexe décrit par un polygone fermé composé linéaires et d'arcs. Un domaine peut contenir des trous, des lignes internes et des points. Les sommets des polygones, les trous et les lignes internes doivent être dans le même plan.

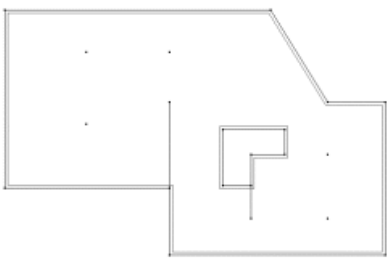
Un domaine a les paramètres suivants:

Type d'élément (membrane, plaque, coque)
Matériau
Épaisseur
Excentricité
Système de coordonnées locales
Couleur personnalisée pour le rendu de la vue

Les paramètres suivants peuvent être attribués au polygone, aux bords des trous, aux lignes internes et aux points d'un domaine:

Appui ponctuel, linéaire, et surfacique
Élément de nervure
Charge répartie
Poids propre
Charge thermique
Degré de liberté nodal (DDL)

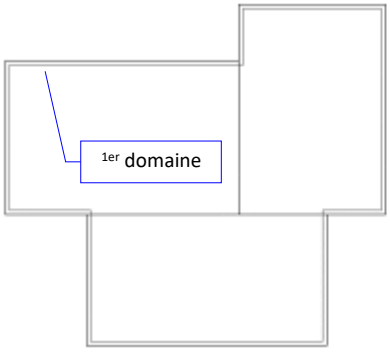
Un domaine est représenté par une ligne de contour à l'intérieur du polygone du domaine, avec une couleur correspondant au type d'élément du domaine (bleu pour la membrane, rouge pour la plaque et vert pour la coquille).

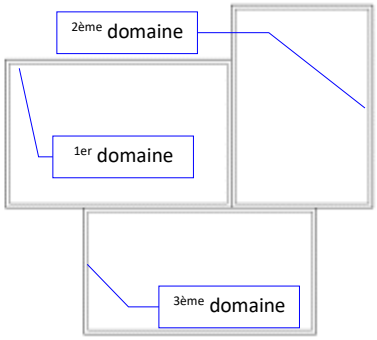


Les domaines peuvent être définis pour les sols, les murs et tout autre élément surfacique structurel complexe.

Le domaine peut être maillé automatiquement. Voir... *4.11.1.2. Maillage des domaines*

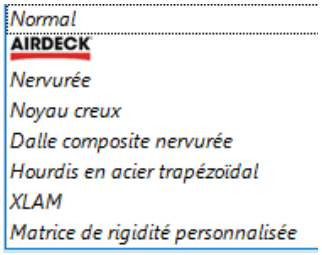
Plus d'un domaine peut être utilisé pour modéliser un élément structurel.





Un domaine peut contenir d'autres (sous-) domaines.

Différents types de domaines sont disponibles dans la liste déroulante *Type en* haut

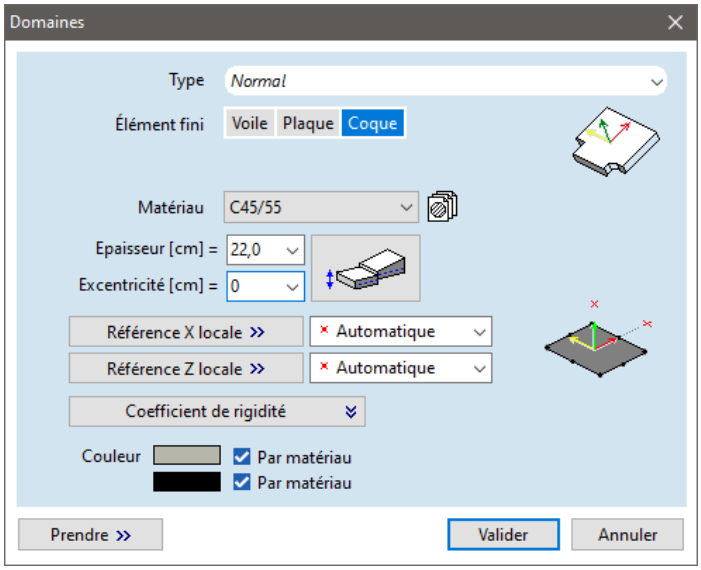


- *Domaine normal* (pour les dalles simples, les murs, etc.)
- *Domaine AirDeck* (pour les dalles vides, nécessite le module ADK)
- *Domaine nervuré* (pour les dalles nervurées paramétriques)
- *Noyau creux* (pour les dalles à *noyau* creux)
- *Dalle nervurée composite* (pour les dalles nervurées composites)
- *Hourdis acier trapézoïdal* (pour les tôles d'acier ou les dalles composites)
- *XLAM* (pour les panneaux de bois lamellés-croisés)
- *Matrice de rigidité personnalisée*

4.9.6.1. Définir un domaine de type normal

Élément fini Les domaines peuvent être modélisés avec différents types d'éléments finis (membrane, plaque, coque). Pour comprendre la signification de ces types, voir... *4.9.10 Élément surfacique.*

Sélectionnez des lignes sur le contour des domaines que vous voulez définir. Si vous sélectionnez plusieurs lignes ou des lignes de différents plans, AxisVM trouvera les plans et les polygones de contour de l'ensemble. Le programme applique les paramètres que vous avez saisis dans une fenêtre de dialogue.



Matériau Sélectionnez un matériau dans la liste des matériaux utilisés dans le projet ou choisissez-en un dans la bibliothèque de matériaux.

Epaisseur, excentricité Pour définir un domaine avec une épaisseur et une excentricité constante, seules les deux valeurs doivent être saisies.

Les domaines en biseau et/ou à excentricité variable peuvent être définis en cliquant sur le bouton à côté des champs d'édition.



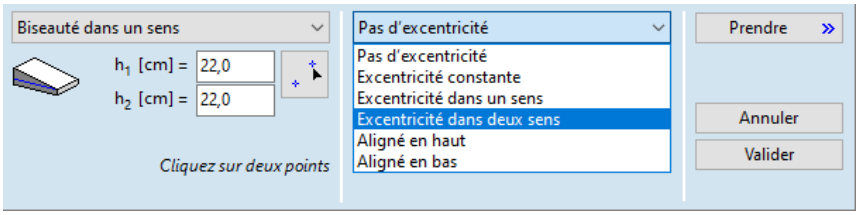
k,torsion Si le matériau est du béton, il est possible de réduire la résistance à la torsion de la plaque ou de la coque B.A.
k, le facteur de torsion doit être compris entre 0,1 et 1, c'est-à-dire que la résistance à la torsion de la plaque ou de l'enveloppe en B.A. peut être de 10 à 100 % par rapport au matériau élastique et isotrope.

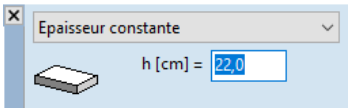
k,Cisaillement Si le matériau est de la maçonnerie, il est possible de fixer une résistance au cisaillement réduite.
k,le facteur de cisaillement doit être compris entre 0,1 et 1, c'est-à-dire que la résistance au cisaillement de la membrane ou de l'enveloppe de maçonnerie peut être de 10 à 100 % par rapport au matériau élastique et isotrope.
Si le matériau est du béton, il est possible de fixer une résistance au cisaillement réduite de la membrane ou de l'enveloppe B.A.
k,le facteur de cisaillement doit être compris entre 0,1 et 1, c'est-à-dire que la résistance au cisaillement de la membrane ou de l'enveloppe B.A. peut être de 10 à 100 % par rapport au matériau élastique et isotrope.

k,flexion Si le matériau est du béton, il est possible de réduire la résistance à la flexion de la plaque ou de l'enveloppe B.A..
k, le facteur de flexion doit être compris entre 0,1 et 1, c'est-à-dire que la résistance à la flexion de la plaque ou de l'enveloppe en béton armé peut être de 10 à 100 % par rapport au matériau élastique et isotrope.

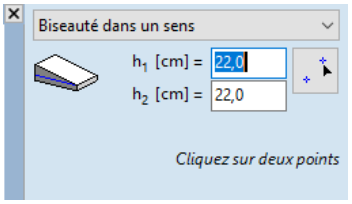
☞ Dans le cas d'éléments surfaciques en B.A., l'analyse non linéaire ne prend pas en compte les facteurs *k,cisaillement* et *k,torsion* si la case Utiliser l'armature dans le calcul est cochée. (Voir... *6.5.6.* Analyse non linéaire des surfaces en B*Analyse non linéaire des surfaces en B.A.)*





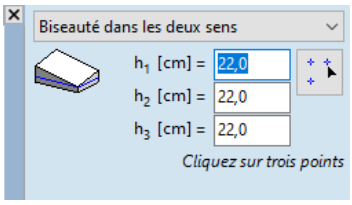


En cas d'*épaisseur constante,* l'épaisseur du domaine *h* doit être saisie.





Pour les domaines *biseautés dans un sens,* entrez *h1, h2* et cliquez sur le bouton puis cliquez sur deux points de référence d'épaisseur. L'épaisseur du domaine changera de façon linéaire entre les points de référence, soit *h1* au premier point et *h2* au second.





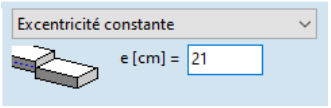
Pour les domaines *biseautés dans les deux sens,* entrez *h1, h2, h3* et cliquez sur le bouton puis cliquez sur trois points de référence d'épaisseur.
L'épaisseur du domaine changera linéairement entre les points de référence, étant *h1* au premier point *h2*, au deuxième, *h3 au* troisième. Les trois points de référence ne peuvent pas être sur la même ligne

☞ **Si l'épaisseur du domaine est réduite à zéro sur certains points, un avertissement apparaîtra.**

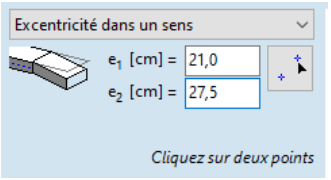
☞ **Si le dégradé d'épaisseur est supérieur à 5 %, le calcul des armatures surfacique devient indisponible.**

☞ **Le plan de référence du projet statique est le plan médian du domaine. L'excentricité est relative à ce plan.**

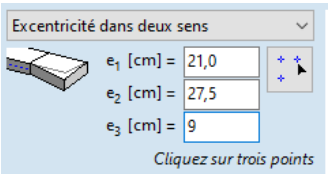
Excentricité Le réglage de l'excentricité est facultatif. En choisissant l'excentricité *constante* dans la liste ou en réglant *e = 0,* le plan médian du domaine sera le même que le plan du cadre statique. Les autres options sont



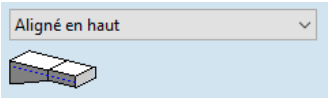
Excentricité constante: Le plan médian du domaine obtient un décalage de *e* dans la direction locale *z*.

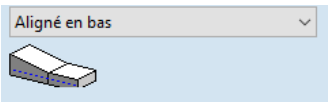


Excentrique dans un sens: Entrez *e1, e2*, cliquez sur le bouton puis cliquez sur deux points de référence d'excentricité sur le projet. L'excentricité du plan médian changera de façon linéaire entre les points de référence, soit *e1* au premier point et *e2* au second.



Excentrique dans deux sens: Entrez *e1, e2, e3,* cliquez sur le bouton puis cliquez sur trois points de référence du projet. L'excentricité du plan médian changera linéairement entre les points de référence, soit *e1* au premier point, *e2 au* deuxième et *e3 au* troisième.





L'excentricité *alignée en haut/en bas* est utile lorsque l'on travaille avec des domaines biseautés ou de nombreux domaines reliés avec une épaisseur différente. Dans ces modes, l'excentricité est calculée automatiquement. Les domaines biseautés auront une excentricité nulle à leur point le plus fin - à moins qu'ils ne soient dans un groupe d'excentricité (voir ci-dessous).
Les domaines *alignés en haut* ont leur plan supérieur parallèle au plan *x-y* local. Les domaines *alignés en bas ont leur plan* inférieur parallèle au plan *x-y local*

Si plusieurs domaines sont sélectionnés et que l'option *Groupe d'excentricité* est activée, les excentricités des domaines seront réglées de manière à aligner le plan supérieur ou inférieur des domaines. La modification de l'épaisseur d'un domaine du groupe mettra à jour l'excentricité des autres domaines du groupe afin de maintenir l'alignement des plans.
Le bouton "*ramasser*" *permet de capter l'*épaisseur et l'excentricité d'un autre domaine. Lorsque des points de référence sont également détectés, la variation d'épaisseur suit le plan défini par le domaine.
Les excentricités et les groupes d'excentricités peuvent servir de base pour le codage couleur (voir... *2.19.3. Codage couleur*) et les groupes d'excentricités peuvent être affichés sous forme de parties (voir... *2.16.14 Parties*)

Couleur Les domaines peuvent avoir leur propre couleur de remplissage et de contour utilisée en mode d'affichage rendu. Les valeurs par défaut sont tirées des couleurs des matériaux. Si un codage couleur est appliqué, la couleur du domaine est déterminée par le codage couleur en mode fil de fer et en mode rendu.
Voir... *2.16.5 Codage couleur*

Modifier un domaine Sélectionnez le domaine (cliquez sur la ligne de contour du domaine) que vous souhaitez modifier et effectuez les changements dans le dialogue affiché.

Supprimer un domaine Appuyez sur le bouton **[Suppr]**, sélectionnez les domaines (cliquez sur la ligne de contour du domaine) que vous souhaitez supprimer et cliquez sur VALIDER dans la boîte de dialogue.

4.9.6.2. Domaine composite nervuré

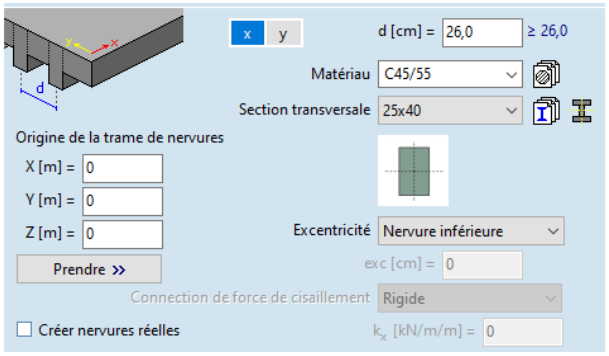
La définition d'un domaine nervuré composite est un moyen plus facile de placer un système de nervures sur un domaine. Contrairement aux dalles nervurées paramétriques (1), les nervures peuvent s'étendre dans la direction locale *x* ou *y*, mais pas les deux, (2) leur matériau peut être différent de celui du domaine et (3) elles peuvent avoir n'importe quelle section transversale prise dans la bibliothèque de sections transversales ou créée dans l'éditeur de sections transversales.
Au-delà des paramètres de base du domaine (voir... *4.9.6.1. Définir un domaine de type normal*), les paramètres suivants peuvent être spécifiés :

☞ **Les domaines de type dalles composites nervurés nécessitent un type d'élément de plaque ou de coque.**

Origine de la trame de nervures

Les nervures peuvent s'étendre dans la direction locale *x* ou *y*. L'origine de la trame des nervures peut être saisie numériquement ou reprise du projet.

L'espacement des nervures (*d*) ne peut être inférieur à la largeur de la section transversale.
L'excentricité des nervures peut être réglée, la connexion d'effort tranchant peut être réglée sur *Elastique* ou *Rigide* avec une rigidité *kx* donnée.



Créer des nervures réelles

Dans le cas de nervures en acier coulées partiellement ou entièrement dans le béton, la *création de nervures réelles* doit être laissée sans contrôle. Si des nervures supérieures ou inférieures sont fixées à la surface de la dalle ou si l'espacement est élevé par rapport aux dimensions du domaine, il est recommandé d'activer cette option.

☞ **Le plan de référence du projet statique est le plan médian de la plaque de béton.**

Application de nervures logiques

Si l'option *Créer des nervures réelles n*'est pas cochée, les nervures composites seront représentées comme des entités logiques, aucun élément fini ne sera créé. Les nervures seront prises en compte lors de la création de la matrice de rigidité du matériau de la plaque. À partir de la géométrie 3D, nous calculons les constantes orthotropes élastiques efficaces du matériau, adaptées pour représenter la rigidité d'un corps périodique avec un projet 2D. Ceci est réalisé selon la théorie de l'homogénéisation asymptotique. L'efficacité d'une telle méthode est principalement influencée par le rapport entre la longueur de la période et la taille dominante du domaine modélisé (dans ce cas, le rapport entre le paramètre *d et l*'étendue du domaine le long de la direction perpendiculaire aux nervures).

☞ **En règle générale, on peut dire que l'espacement des nervures est bien plus petit que la taille dominante dans le plan du domaine problématique.**

La matrice de rigidité des matériaux d'un élément de coque général :

$$\begin{Bmatrix}\{N\}\\ \{M\}\end{Bmatrix} = \begin{bmatrix}\mathcal{A} & \mathcal{B}\\ \mathcal{B}^{\mathrm{T}} & \mathcal{D}\end{bmatrix}\begin{Bmatrix}\{\epsilon_0\}\\ \{\kappa\}\end{Bmatrix},$$

$$\begin{Bmatrix}Q_x\\ Q_y\end{Bmatrix} = K_s\begin{bmatrix}A_{44} & A_{45}\\ A_{45} & A_{55}\end{bmatrix}\begin{Bmatrix}\gamma_x\\ \gamma_y\end{Bmatrix}$$

où les matrices

$$\mathcal{A} = \begin{bmatrix}A_{11} & A_{12} & A_{16}\\ A_{12} & A_{22} & A_{26}\\ A_{16} & A_{26} & A_{66}\end{bmatrix};\ \mathcal{B} = \begin{bmatrix}B_{11} & B_{12} & B_{16}\\ B_{12} & B_{22} & B_{26}\\ B_{16} & B_{26} & B_{66}\end{bmatrix};\ \mathcal{D} = \begin{bmatrix}D_{11} & D_{12} & D_{16}\\ D_{12} & D_{22} & D_{26}\\ D_{16} & D_{26} & D_{66}\end{bmatrix}$$

peuvent provenir de la matrice de rigidité 6x6 de la loi générale de HOOK La matrice $\mathcal{B}$ représente l'effet de couplage entre la flexion et la membrane ou, en d'autres termes, les effets excentriques. Cette matrice peut être nulle si et seulement si les nervures ont toutes deux une excentricité nulle. Dans tous les autres cas, la structure doit être modélisée à l'aide d'éléments de coque pour éviter une perte importante d'informations. Les entrées des matrices sont déterminées en appliquant des états de contrainte indépendants sur un projet 3D, et en adaptant le champ de contrainte obtenu. Comme une coque comporte 8 composants de déformation généralisée, nous devons effectuer 8 calculs par éléments finis en arrière-plan. Une coque dotée des propriétés de rigidité ainsi calculées est équivalente au problème d'origine, de sorte que le travail nécessaire pour déformer la structure jusqu'à un certain niveau reste le même, mais cela n'implique pas l'équivalence de toutes les composantes de déplacement en tous points.

☞ **Les nervures logiques sont plus efficaces lorsque l'espacement des nervures est dense ou que la plaque est principalement chargée par des charges réparties. Ceci est dû aux effets locaux des forces ponctuelles.**

4.9.6.3. Domaine de type noyau creux

Au-delà des paramètres de base du domaine, les paramètres suivants peuvent être spécifiés:

☞ **Les domaines à noyau creux nécessitent un matériau en béton et un élément de type de plaque ou coque.**

Type de vide



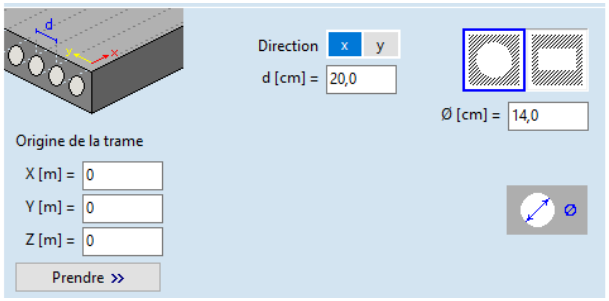
Tubulaire



Rectangulaire

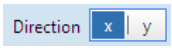
Origine de la trame

Les vides se produisent dans la direction locale x ou y le long d'une trame.
L'origine de cette trame peut être spécifiée numériquement ou reprise du projet.



Vides dans la direction x / y

La direction des vides peut être choisie ici.



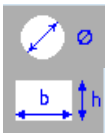
☞ **Le plan de référence du projet statique est le plan médian de la plaque de béton.**

Vides tubulaires

Paramètres : *Ø* est le diamètre du vide, *d est* la distance entre les centres des vides.

Vides rectangulaires

Paramètres : *b* est la largeur du vide, *h est la* hauteur du vide, *d est* la distance entre les centres des vides.



Calcul

La méthode de calcul est la même que celle que l'on peut voir dans le *Domaine composite nervuré*, puisque les configurations actuelles peuvent être considérées comme des cas particuliers de cela. Par conséquent, toutes les propriétés de la méthode qui y est écrite s'appliquent également à ce type de domaine.

☞ **En règle générale, on peut dire que l'espacement des vides est bien plus petit que les dimensions dominantes dans le plan du domaine problématique.**
Dans le contexte de l'anisotropie élastique, la rigidité du matériau (matrice ABD) d'un élément général à coque plate peut être décrite à l'aide du système d'équations suivant

$$\begin{Bmatrix}\{N\}\\ \{M\}\end{Bmatrix} = \begin{bmatrix}\mathcal{A} & \mathcal{B}\\ \mathcal{B}^{\mathrm{T}} & \mathcal{D}\end{bmatrix}\begin{Bmatrix}\{\epsilon_0\}\\ \{\kappa\}\end{Bmatrix};\ \begin{Bmatrix}Q_y\\ Q_x\end{Bmatrix} = K_s\begin{bmatrix}A_{44} & A_{45}\\ A_{45} & A_{55}\end{bmatrix}\begin{Bmatrix}\gamma_y\\ \gamma_x\end{Bmatrix}$$

où

$$\mathcal{A} = \begin{bmatrix}A_{11} & A_{12} & A_{16}\\ A_{12} & A_{22} & A_{26}\\ A_{16} & A_{26} & A_{66}\end{bmatrix};\ \mathcal{B} = \begin{bmatrix}B_{11} & B_{12} & B_{16}\\ B_{12} & B_{22} & B_{26}\\ B_{16} & B_{26} & B_{66}\end{bmatrix};\ \mathcal{D} = \begin{bmatrix}D_{11} & D_{12} & D_{16}\\ D_{12} & D_{22} & D_{26}\\ D_{16} & D_{26} & D_{66}\end{bmatrix}$$

Les matrices peuvent être dérivées de la matrice de rigidité 6x6 de la loi générale de HOOK. $l\ a\ matrice\ \mathcal{B}$ représente la relation matérielle entre les forces normales et la flexion, qui n'a que des valeurs nulles dans le cas présent. Les valeurs de rigidité non nulles sont déterminées par le calcul des contraintes moyennes, dues à des états de déformation purs appliqués sur l'élément volumique représentatif du matériau.

4.9.6.4. Dalles paramétriques nervurées

Au-delà des paramètres de base du domaine, les paramètres suivants peuvent être spécifiés:

Type de nervure



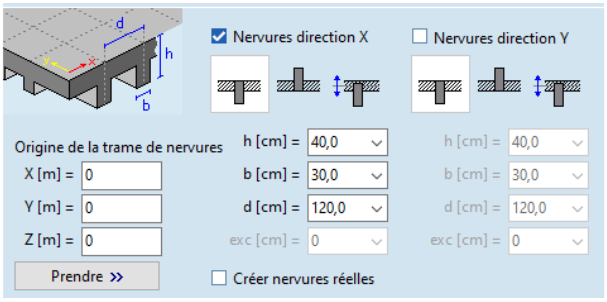
Nervure Inférieure



Nervure Supérieure



Excentricité personnalisée



Origine de la trame de nervures

Les nervures suivent une trame linéaire dans les directions locales *x* et *y*. L'origine de cette trame peut être saisie numériquement ou reprise dans le projet. Les nervures peuvent être modélisées avec des nervures logiques ou réelles.

Nervures dans la direction x / y

Les nervures courant dans la direction x ou y ont les paramètres géométriques suivants : *h* est la hauteur de la nervure *b est la* largeur de la nervure, *d est la* distance entre les nervures, *exc est* l'excentricité (si l'excentricité personnalisée est sélectionnée).

☞ **La valeur maximale de l'excentricité de la nervure = (épaisseur de la plaque + h) / 2**

☞ **Le plan de référence du projet statique est le plan médian de la plaque de béton.**

Calcul

La méthode de calcul est la même que celle que l'on peut voir dans le *Domaine composite nervuré*, puisque les configurations actuelles peuvent être considérées comme des cas particuliers de cela. Par conséquent, toutes les propriétés de la méthode qui y est écrite s'appliquent également à ce type de domaine.

☞ **En règle générale, on peut dire que l'espacement des nervures est bien plus petit que la taille dominante dans le plan du domaine problématique.**
Une autre conséquence de l'homogénéisation est que les pics de rigidité aux intersections des nervures seront lissés, ce qui peut conduire à une étude insuffisante. Les limites d'application concernant une plaque nervurée en tant que plaque homogène sont rassemblées dans la norme EN 1992-1-1:2010, chapitre 5.3.1. Le programme détecte automatiquement si ces suggestions ne sont pas respectées.

☞ **En cas de violation d'une restriction géométrique, l'utilisateur est informé par une fenêtre de message.**

Créer des nervures réelles

La méthode d'homogénéisation n'est pas applicable en analyse non linéaire. Pour obtenir des résultats non linéaires corrects, il faut créer des nervures réelles. Cette option permet de générer automatiquement des éléments de nervures en fonction des paramètres.

4.9.6.5. Hourdis en acier trapézoïdal

Pour la définition des paramètres de base, voir... *Définir un domaine de type normal*

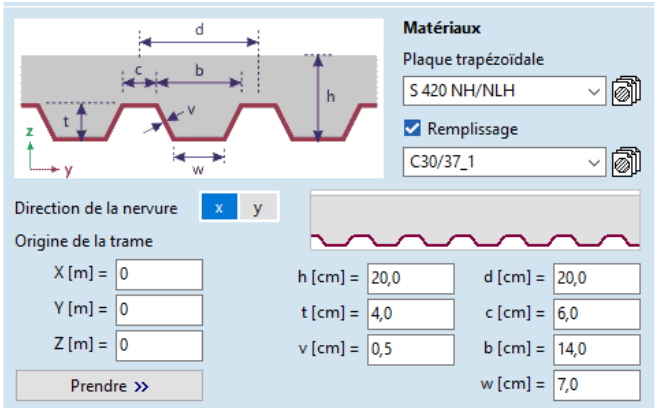
☞ **Le hourdis trapézoïdal doit être en acier, le remplissage doit être en béton.**

Remplir

Si ce champ n'est pas coché, le domaine n'est qu'un hourdis d'acier trapézoïdal. Si la case est cochée, il s'agit d'une plaque composite où un tablier en acier est rempli de béton.

Origine de la trame

Les nervures du hourdis trapézoïdal peuvent s'étendre dans la direction locale *x* ou *y du* domaine selon l'état de la case à cocher de *direction des nervures.* Entrez les coordonnées globales X, Y, Z pour définir l'origine du système de nervures ou cliquez sur le bouton "*Prendre*" pour le définir en cliquant.



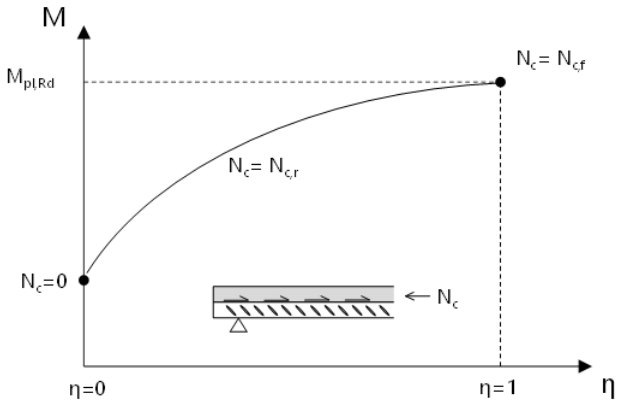
Paramètres

La figure ci-dessus montre les principaux paramètres géométriques de la dalle composite. Les gaufrages mécaniques roulés et les ancrages d'extrémité assurent généralement la connexion de cisaillement entre le hourdis trapézoïdal et le béton. Les paramètres η et p sont le degré/efficacité de la connexion de cisaillement et la largeur des gaufrages mécaniques roulés, respectivement. Le logiciel ne tient pas compte des gaufrages mécaniques roulés lors du calcul de la résistance à la flexion du hourdis trapézoïdal.

η exprime la proportion de la résistance à la compression totale ($N_{c,f}$) de la couche supérieure de béton transférée au hourdis trapézoïdal. Si η est inférieur à 1,0, la résistance à la flexion de la dalle composite est plus faible que dans le cas d'une connexion de cisaillement complet.

$$N_{c,f} = 0.85 f_{cd}(h - t),$$

où f_{cd} est la résistance à la compression du béton.



Si seuls les gaufrages roulés sont appliqués pour la connexion de cisaillement, le degré de connexion de cisaillement est de 0 aux supports et il augmente avec la distance des supports. Dans ce cas, il est recommandé de diviser le domaine parallèle aux supports et de définir différentes valeurs discrètes de η pour les sous-domaines. Les valeurs exactes peuvent être calculées à partir de la force de la connexion de cisaillement ($\tau_{u,Rd}$) qui dépend de manière significative de la géométrie des gaufrages ; ainsi, elle peut varier pour différents hourdis trapézoïdaux. Si $\tau_{u,Rd}$ est connu, le degré de la connexion de cisaillement peut être calculé de la manière suivante :

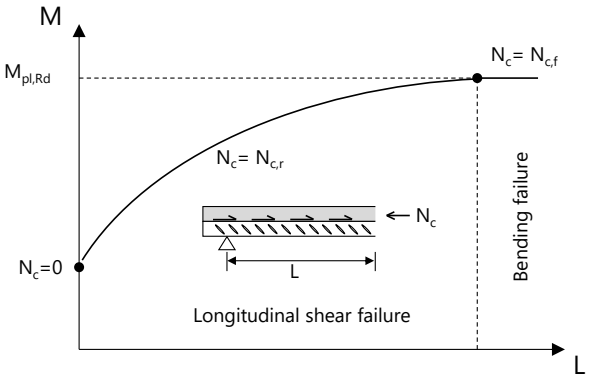
$$\eta = \frac{\tau_{u,Rd} L}{N_{c,f}} \leq 1,$$

Où L, est la distance par rapport aux appuis.

Si seuls les ancrages d'extrémité sont appliqués, le degré de connexion en cisaillement peut être calculé de la manière suivante pour l'ensemble du domaine :

$$\eta = \frac{V_{ld}}{N_{c,f}} \leq 1,$$

Où V_{ld} est la résistance des ancrages d'extrémité.



Si des ancrages d'extrémité et des gaufrages roulés sont appliqués, le degré de connexion en cisaillement peut être calculé comme la somme des valeurs η indiquées ci-dessus.

☞ **Si aucun remplissage n'est appliqué, le plan de référence du projet statique est le plan médian du hourdis en acier (t/2), sinon le plan médian de la dalle composite totale (h/2).**

Analyse La méthode de calcul est la même que celle que l'on peut voir dans le *Domaine composite nervuré* puisque les configurations actuelles peuvent être considérées comme des cas particuliers de cela. Par conséquent, toutes les propriétés de la méthode qui y est écrite s'appliquent également à ce type de domaine.

4.9.6.6. Domaine avec matrice de rigidité personnalisée

Entrer dans une matrice de rigidité personnalisée permet de contrôler entièrement les relations entre les composantes de force interne et les contraintes. Cette solution est proposée dans tous les cas où d'autres solutions de modélisation ne sont pas possibles et où l'utilisateur est capable de générer les valeurs nécessaires, ou est en possession de valeurs suggérées de n'importe quelle source. Le terme courant pour cette matrice est la matrice ABD. Les matrices ABD doivent être définies de manière positive, ce critère est vérifié par le programme.
Les indices des éléments de la matrice suivent la notation Voigt avec la légère modification de l'échange des incices de τ_{xz} et τ_{yz}. Par conséquent

$$\sigma_1 = \sigma_{11},\ \sigma_2 = \sigma_{22},\ \sigma_3 = \sigma_{33},\ \sigma_4 = \sigma_{23},\ \sigma_5 = \sigma_{13},\ \sigma_6 = \sigma_{12}$$

et

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_{11},\ \varepsilon_2 = \varepsilon_{22},\ \varepsilon_3 = \varepsilon_{33},\ \varepsilon_4 = \varepsilon_{23},\ \varepsilon_5 = \varepsilon_{13},\ \varepsilon_6 = \varepsilon_{12}.$$

C'est pourquoi la cartographie des contraintes est donnée avec la forme générale de la loi de HoValidere pour les matériaux anysotropes:

$$\begin{Bmatrix}\sigma_1\\ \sigma_2\\ \sigma_3\\ \sigma_4\\ \sigma_5\\ \sigma_6\end{Bmatrix} = \begin{bmatrix}C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} & C_{15} & C_{16}\\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} & C_{25} & C_{26}\\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & C_{34} & C_{35} & C_{36}\\ C_{41} & C_{42} & C_{43} & C_{44} & C_{45} & C_{46}\\ C_{51} & C_{52} & C_{53} & C_{54} & C_{55} & C_{56}\\ C_{61} & C_{62} & C_{63} & C_{64} & C_{65} & C_{66}\end{bmatrix} \begin{Bmatrix}\varepsilon_1\\ \varepsilon_2\\ \varepsilon_3\\ \varepsilon_4\\ \varepsilon_5\\ \varepsilon_6\end{Bmatrix}$$

où une paire d'indices se réfère à l'élément de la matrice de rigidité du matériau qui est lié à la composante de rigidité donnée.

La signification des blocs peut être décrite comme suit
A_{ij} - la rigidité de la membrane (forces normales - déformation relative)
D_{ij} - la rigidité des plaques (moments - flexion)
S_{ij} - la rigidité au cisaillement ajustée (forces de cisaillement - déformation de cisaillement relative)
B_{ij} - la rigidité de liaison (forces normales - flexions ou moments - déformation relative)

$$\begin{bmatrix}n_x\\ n_y\\ n_{xy}\\ m_x\\ m_y\\ m_{xy}\\ v_{xz}\\ v_{yz}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}A_{11} & A_{12} & A_{16} & B_{11} & B_{12} & B_{16} & & \\ A_{12} & A_{22} & A_{26} & B_{12} & B_{22} & B_{26} & 0 & \\ A_{16} & A_{26} & A_{66} & B_{16} & B_{26} & B_{66} & & \\ B_{11} & B_{12} & B_{16} & D_{11} & D_{12} & D_{16} & & \\ B_{12} & B_{22} & B_{26} & D_{12} & D_{22} & D_{26} & 0 & \\ B_{16} & B_{26} & B_{66} & D_{16} & D_{26} & D_{66} & & \\ & 0 & & & 0 & & S_{44} & S_{45}\\ & & & & & & S_{45} & S_{55}\end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix}\varepsilon_x\\ \varepsilon_y\\ \gamma_{xy}\\ \kappa_x\\ \kappa_y\\ \kappa_{xy}\\ \gamma_{xz}\\ \gamma_{yz}\end{bmatrix}$$

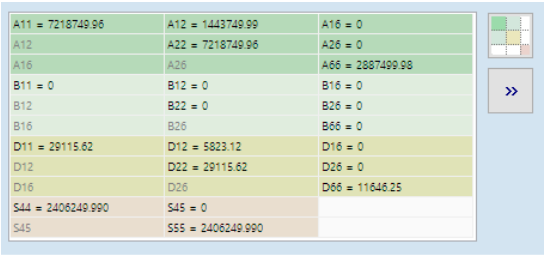
Les propriétés de base du domaine peuvent être saisies comme pour les domaines normaux. Ces paramètres n'affecteront que la représentation visuelle car les propriétés physiques sont contrôlées par la matrice de rigidité.

☞ **Les composantes corrigées de la rigidité au cisaillement doivent inclure les facteurs de correction du cisaillement tels que décrits dans le chapitre sur les domaines XLAM. Dans un cas général, ces facteurs peuvent être autres que 5 fois sur 6, utilisés pour des sections transversales homogènes et peuvent être différents dans les directions locales. La détermination des facteurs de correction de cisaillement est la responsabilité de l'utilisateur.**

☞ **La signification des différents paramètres de rigidité est expliquée dans un guide théorique dédié.**

Matrice de rigidité

En bas du dialogue, les valeurs de rigidité attribuées aux éléments de la sous-matrice A, B, D, S sont affichées.





Editer la matrice de rigidité

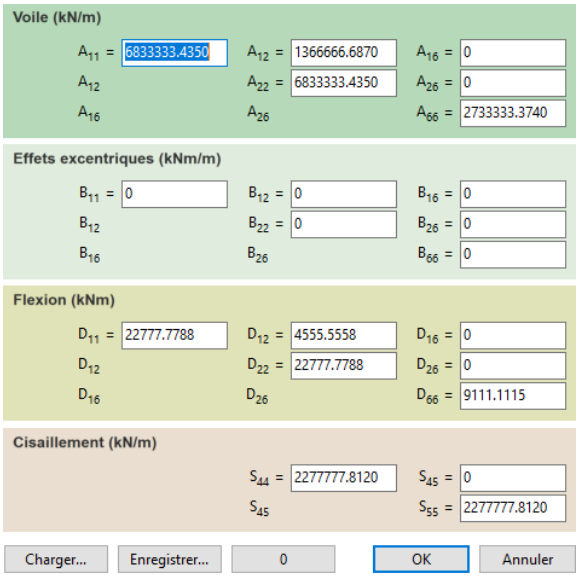
Cliquez sur ce bouton pour modifier les éléments de la matrice.
La matrice peut être enregistrée dans un fichier *smx en* cliquant sur *Enregistrer...* et peut être chargée à partir d'un fichier *smx en cliquant sur Charger....*
Ce fichier est un simple fichier texte avec les valeurs de rigidité. Il est donc également possible de créer des fichiers *smx* manuellement ou par d'autres programmes.



Cliquez sur *0* pour mettre à zéro toutes les composantes de la rigidité.

Prendre la Matrice de rigidité

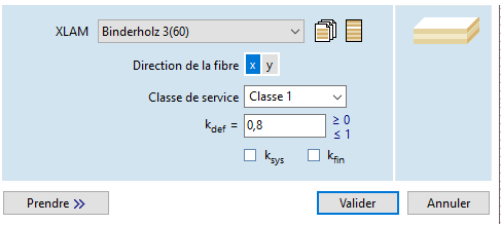
Cliquez sur ce bouton pour récupérer la matrice de rigidité des autres domaines (même s'ils n'ont pas de rigidité personnalisée).



Pour plus d'informations, voir le *guide aide / Guide personnalisé de la matrice de rigidité*.

4.9.6.7. Domaine de type XLAM

Ce type de domaine nécessite le module XLM
La manipulation des panneaux XLAM (bois lamellé-collé). AxisVM offre une bibliothèque de nombreux produits courants, mais il est également possible de saisir une structure de couches personnalisée.

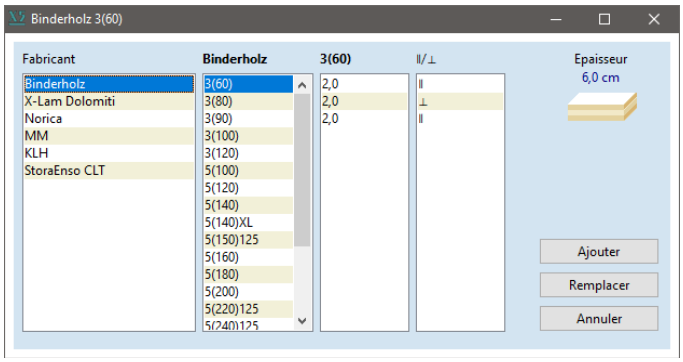


L'analyse fournit les déplacements, les forces, les contraintes et les exploitations dans les domaines XLAM.

Définition

Parcourir les bibliothèques XLAM

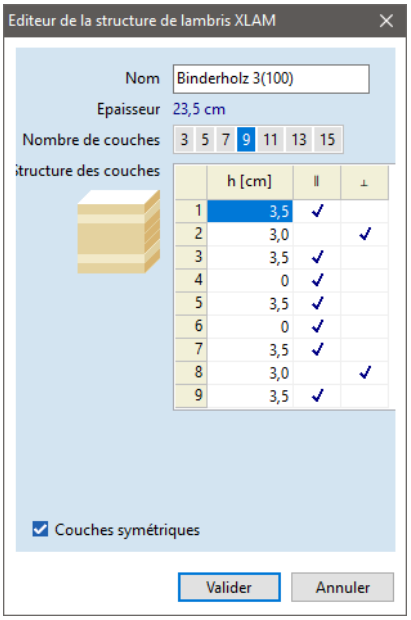




AxisVM dispose d'une grande variété de bases de données intégrées provenant des fabricants de XLAM, qui est en constante expansion.

La structure des couches XLAM peut être chargée à partir des bibliothèques.

Editeur de structure de panneaux bois



Cet éditeur permet de définir une structure de couches personnalisée.

Le champ *Nom* contient le nom de la structure du panneau.
Epaisseur est l'épaisseur totale calculée du panneau.
Le *nombre de couche* est toujours impair, la structure des couches peut être symétrique ou asymétrique. Outre les épaisseurs des différentes couches, l'utilisateur peut également modifier l'orientation.

Classe de service

Il s'agit d'une classification basée sur la teneur en humidité du matériau et l'humidité relative. Pour plus de détails, voir... *Classe de service* dans *6.7.1 Étude de poutres en bois - module TD1*

Direction des fibres de la couche supérieure

La direction des fibres de la couche supérieure doit être spécifiée ; il peut s'agir de la direction locale *x* ou *y*.

ksys

Lorsqu'il est vérifié, le facteur de résistance du système est pris en considération pour calculer les propriétés de résistance de la pièce. Pour plus d'informations, voir le "Guide de théorie et d'étude XLAM".

kfin

Lors du contrôle, la résistance à la flexion est prise en compte avec une valeur réduite. Vérifiez si les lamelles sont aboutées. Pour plus d'informations, voir le "Guide de théorie et d'étude XLAM".

Calcul

Des structures en couches construites à partir de calques homogènes, une matrice de rigidité orthotropique équivalente des matériaux peut être calculée. Cette méthode convertit l'inhomogénéité géométrique en orthotropie matérielle
La rigidité des matériaux d'un élément de coque général peut être décrite à l'aide du système d'équations suivant

$$\begin{Bmatrix}\{N\}\\{M}\end{Bmatrix} = \begin{bmatrix}\mathcal{A} & \mathcal{B}\\ \mathcal{B}^{\mathrm{T}} & \mathcal{D}\end{bmatrix}\begin{Bmatrix}\{\epsilon_0\}\\{\kappa}\end{Bmatrix};\ \begin{Bmatrix}Q_y\\Q_x\end{Bmatrix} = K_s\begin{bmatrix}A_{44} & A_{45}\\A_{45} & A_{55}\end{bmatrix}\begin{Bmatrix}\gamma_y\\\gamma_x\end{Bmatrix}$$

où

$$\mathcal{A} = \begin{bmatrix}A_{11} & A_{12} & A_{16}\\A_{12} & A_{22} & A_{26}\\A_{16} & A_{26} & A_{66}\end{bmatrix};\ \mathcal{B} = \begin{bmatrix}B_{11} & B_{12} & B_{16}\\B_{12} & B_{22} & B_{26}\\B_{16} & B_{26} & B_{66}\end{bmatrix};\ \mathcal{D} = \begin{bmatrix}D_{11} & D_{12} & D_{16}\\D_{12} & D_{22} & D_{26}\\D_{16} & D_{26} & D_{66}\end{bmatrix}$$

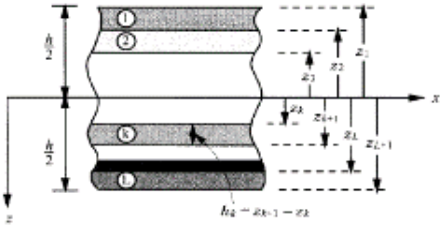
Les matrices peuvent être dérivées de la matrice de rigidité 6x6 du projet de HoValidere pour les matériaux orthotropes. B représente la relation matérielle entre les forces normales et la flexion. *Ks* désigne le facteur de correction du cisaillement, qui est déterminé de manière unique pour chaque schéma de laminage. AxisVM traite les cas symétriques et asymétriques également, les orientations des couches doivent être alignées avec l'une des directions de coordonnées locales du domaine.

Les matrices ci-dessus sont calculées comme suit

$$A_{ij} = \sum_{k=1}^{L} (\bar{Q}_{ij})_{(k)} (z_{k+1} - z_k),$$

$$B_{ij} = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{L} (\bar{Q}_{ij})_{(k)} ({z_{k+1}}^2 - {z_k}^2) = 0,$$

$$D_{ij} = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^{L} (\bar{Q}_{ij})_{(k)} ({z_{k+1}}^3 - {z_k}^3).$$



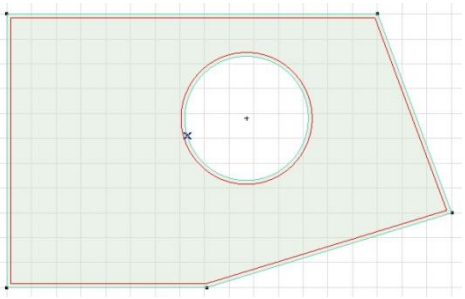
Projet de laminage. (Reddy, J. *Mécanique des plaques et des coques composites laminées.* CRC Press, 2004.)

où $\overline{Q}_{ij}$ est la valeur HOOK MODELL transformée dans le système de coordonnées du panneau.
Pour plus de détails sur la procédure de calcul de la rigidité, consultez le *Guide de théorie et d'étude XLAM*.

4.9.7. Ouverture



Les trous peuvent être définis dans les domaines. Les trous doivent se trouver à l'intérieur du domaine et dans le plan du domaine.
Sélectionnez les polygones (fermés) qui sont les bords des trous que vous voulez définir. Il est possible de sélectionner plusieurs contours. Si un contour n'est pas dans le plan du domaine, aucun trou ne sera créé. Vous pouvez déplacer les trous d'un domaine à l'autre, ou changer leur forme. Si le contour du trou coupe le contour du domaine, ou le trou est automatiquement supprimé.
Les trous sont représentés par une ligne de contour de la couleur du domaine dans lequel ils se trouvent.



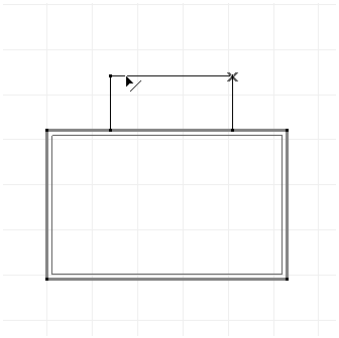
4.9.8. Opérations sur les domaines

Les contours des domaines peuvent être modifiés, coupés et une union de domaines peut être calculée.

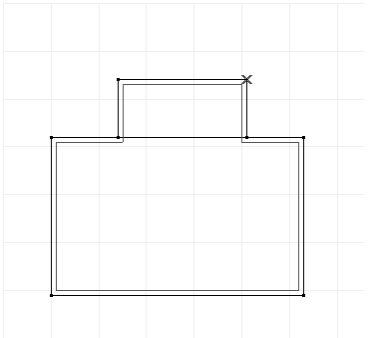
Modifier le contour du domaine



1. Cliquez sur l'icône *Modifier le contour du domaine* dans la barre d'outils.
2. Sélectionnez un domaine à modifier. Le nombre de domaines sera sélectionné.
3. Changez la sélection pour modifier le contour du domaine et cliquez sur VALIDER dans la barre d'outils de sélection.



Avant



Après

☞ **Les propriétés du domaine (matériau, épaisseur, système local) seront conservées mais le maillage existant sera supprimé.**

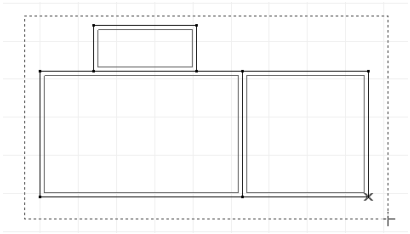
Si les zones chargées sont retirées du domaine, les chargements seront automatiquement supprimés.

Réunir domaines

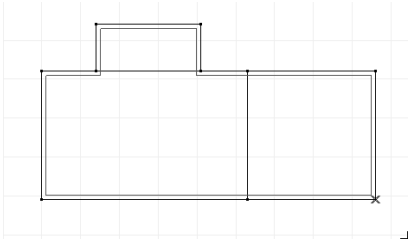


L'Union peut être créée à partir de domaines adjacents.

1. Cliquez sur l'icône "*Réunir domaines*" *de* la barre d'outils.
2. Sélectionnez les domaines et cliquez sur VALIDER dans la barre d'outils de sélection.
3. Si les domaines ont des propriétés différentes (épaisseur, matériau ou système local), il faut cliquer sur l'un d'entre eux. L'union héritera des propriétés du domaine cliqué.



Avant



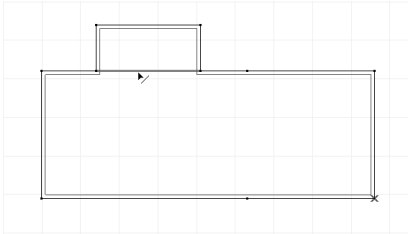
Après

Subdiviser domaines

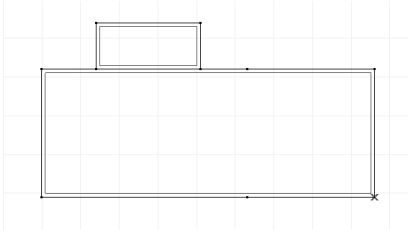


Couper les domaines le long d'une ligne existante:

1. Cliquez sur l'icône *Subdiviser domaines* dans la barre d'outils.
2. Sélectionnez les domaines.
3. Sélectionnez la ligne de découpe et cliquez sur VALIDER dans la barre d'outils de sélection.



Avant



Après

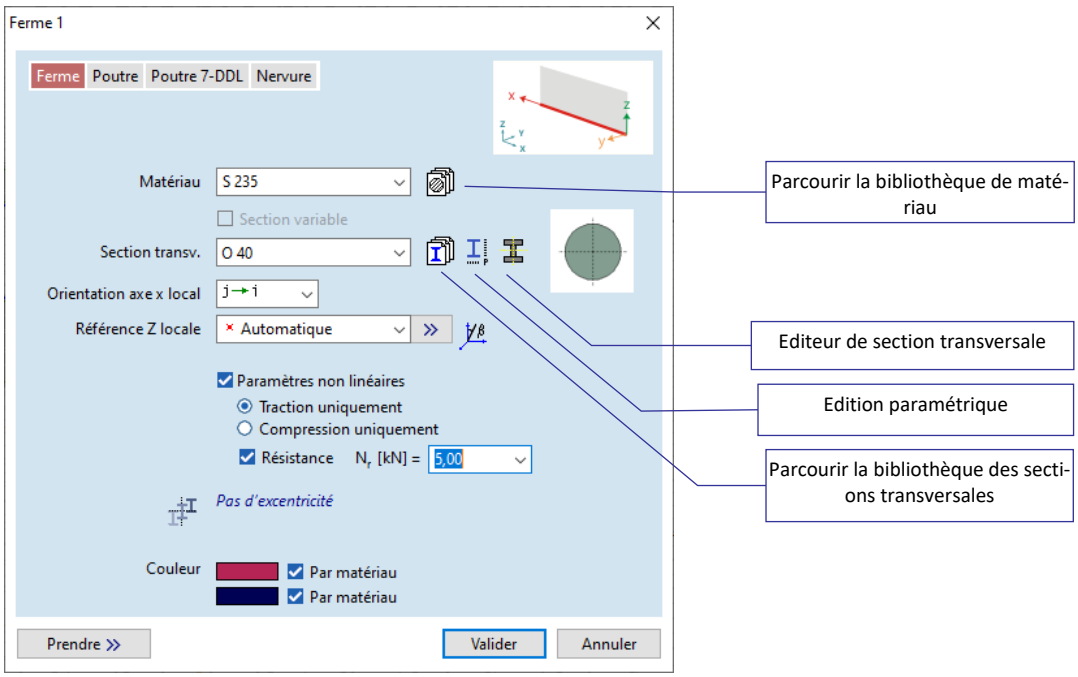
4.9.9. Éléments linéaires

Les éléments linéaires sont définis et modifiés dans un dialogue commun. Après avoir choisi le type d'élément, il est possible de définir des paramètres spécifiques pour les éléments de fermes, de poutres et de nervures.
Les éléments linéaires sont traités comme des éléments structuraux et non comme des éléments finis. Le maillage d'un élément linéaire divise une poutre ou une nervure en éléments finis. Les éléments linéaires existants peuvent être joints pour former un seul élément si la géométrie et leurs propriétés le permettent *(Édition / Recherche d'éléments structuraux)*. Les fonctions de numérotation, d'étiquetage et de listage considéreront qu'il s'agit d'un élément structurel unique. Les éléments structuraux peuvent être séparés par *Edition / Dissocier éléments de construction)* Voir... *3.2.14. Assembler éléments de construction*,*3.2.15. Dissocier éléments de construction*

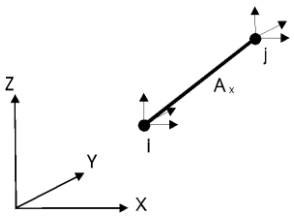
Couleur Les éléments peuvent avoir leur propre couleur de remplissage et de contour utilisée en mode d'affichage rendu. Les couleurs par défaut sont tirées des couleurs des matériaux. Si un codage couleur est appliqué, la couleur d'un élément linéaire est déterminée par le codage couleur à la fois en mode fil de fer et en mode rendu.
Voir... *2.16.5. Codage couleur*

4.9.9.1. Fermes





Les éléments de fermes peuvent être utilisés pour modéliser les structures de fermes. Les fermes sont des éléments droits à deux nœuds, avec des propriétés de section transversale constante sur toute la longueur de la ferme. Un maximum de trois degrés de liberté en translation est défini pour chaque nœud des éléments. Les éléments sont à extrémité en tête d'épingle (rotules sphériques). Seule la force interne axiale Nx est calculée. Elle est constante le long de l'élément.



i désigne l'extrémité de la ferme avec l'indice du nœud inférieur (premier nœud). Par défaut, l'axe des *x* de l'élément va du nœud (*i*) au nœud (*j*). Il peut être modifié en sélectionnant l'autre orientation dans **Orientation locale x.**

Définir Vous devez sélectionner les lignes auxquelles vous voulez attribuer les mêmes propriétés de matériau et de section transversale afin de définir les fermes.
Si des éléments de type différent sont sélectionnés, la définition des éléments sera activée.

Définition des matériaux et des sections transversales

Les matériaux et les sections transversales peuvent être sélectionnés dans les bibliothèques intégrées ou dans une liste de matériaux/sections transversales déjà définis.



Permet de parcourir la bibliothèque de matériaux pour attribuer un matériau à l'élément. Le matériau sélectionné sera ajouté au tableau des matériaux du projet.



En cliquant sur l'icône, vous pouvez modifier les sections de manière paramétrique, c'est-à-dire que si la section actuelle a été sélectionnée dans la bibliothèque ou saisie de manière paramétrique, vous pouvez modifier les paramètres géométriques selon le type prédéfini, en créant une nouvelle section dans le modèle.



Permet de parcourir la bibliothèque des sections transversales pour attribuer une section transversale à l'élément. Pour plus de détails, voir... *4.9.2.1 Bibliothèques de sections transversales.* Une seule section transversale peut être sélectionnée, dans la bibliothèque ou une seule forme paramétrique peut être créée, à la fois



Lancement de l'éditeur de section transversal. La section transversale créée dans l'éditeur sera enregistrée dans la liste des projets de sections transversales.



Les fermes sont affichés à l'écran sous forme linéaires rouges.

Classe de service

Si le code d'étude actuel est l'Eurocode et qu'un matériau en bois est sélectionné, la classe de service peut être définie ici. **Pour plus de détails,** voir... *6.7.1 Étude de poutres en bois - module TD1*

Orientation locale x

La direction x locale d'une poutre peut être réglée pour pointer du nœud *i* au nœud *j* ou vice versa.

i → *j: l'*axe x local est dirigé du nœud final avec un nombre inférieur vers le nœud avec le nombre supérieur

j → *i: l'*axe x local est dirigé du nœud final avec un nombre supérieur vers le nœud avec le nombre inférieur

Le réglage de ce paramètre sur automatique signifie que le programme détermine cette orientation en fonction des coordonnées du point final.
L'orientation peut être inversée à tout moment en utilisant le raccourci **[Ctrl+E]** ou dans le dialogue ou dans la fenêtre de l'éditeur de propriétés.

Section transversale

Dans le calcul de la rigidité de l'élément, seule la surface de la section transversale A_x est prise en compte à partir des propriétés de la section transversale.

Référence z locale

Un point de référence peut être attribué pour définir l'orientation de l'élément.
Cela permet un affichage correct de la section transversale à l'écran. En cas de sélection auto, la ou les références seront définies par le programme. Cela n'affecte que l'affichage des références.
Voir... *4.9.22. Références*

Angle de référence



La rotation des sections transversales est facilitée par l'angle de référence. Le système automatique de coordonnées locales (et la section transversale) peut être tourné autour de l'axe de l'élément selon un angle personnalisé. Si l'élément est parallèle à la direction globale Z, l'angle est relatif à l'axe global X. Dans tous les autres cas, l'angle est relatif à l'axe global Z.

Paramètres non linéaires

Dans une analyse non linéaire, vous pouvez spécifier qu'une ferme n'a de rigidité que si elle est en traction ou en compression. Vous pouvez également entrer une valeur de résistance. Un comportement élastique non linéaire est supposé pour les éléments non linéaires des fermes

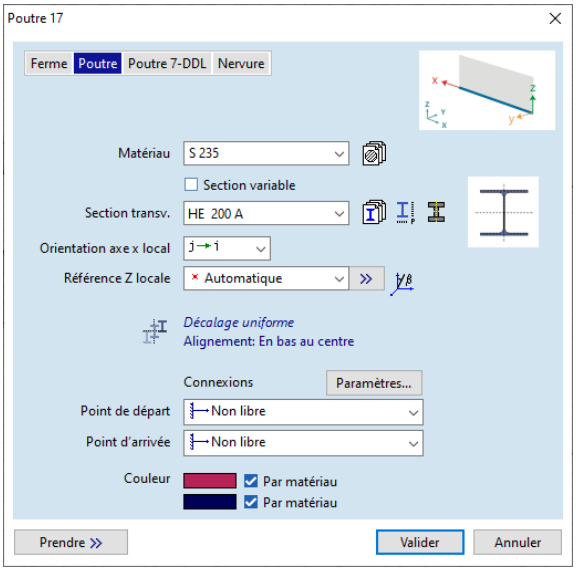
☞ **Les paramètres non linéaires ne sont pris en compte que dans une analyse non linéaire.**

La rigidité élastique initiale d'une ferme est prise en compte si une analyse linéaire statique, de vibration ou de flambement est effectuée, sans tenir compte de tout paramètre non linéaire saisi.

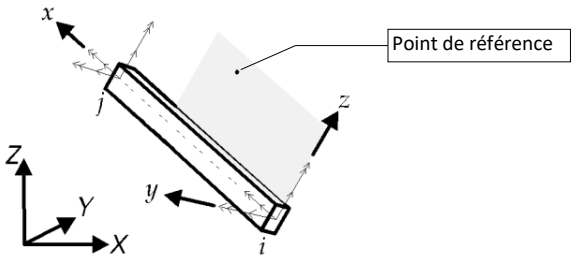
4.9.9.2. Poutre



Des éléments de poutre peuvent être utilisés pour modéliser des structures d'ossature.
Les poutres sont des éléments droits à deux nœuds dont les propriétés de section transversale sont constantes ou variables (changeant linéairement) sur la longueur de la poutre. Un point de référence est utilisé pour orienter arbitrairement l'élément dans l'espace tridimensionnel (pour définir le plan local *x-z)*. Un maximum de trois degrés de liberté en translation et trois degrés de liberté en rotation sont définis pour chaque nœud des éléments. Les extrémités des éléments peuvent avoir des connexions arbitraires.
Trois forces internes orthogonales, un axial et deux de cisaillement (Nx, Vy, Vz), et trois moments internes, un de torsion et deux de flexion (Tx, My, Mz) sont calculés à chaque section transversale de chaque élément.



i désigne l'extrémité de la poutre avec l'index du nœud inférieur (premier nœud). Par défaut, l'axe des *x de l'*élément va du nœud (*i) au* nœud (*j*). Il peut être modifié en sélectionnant l'autre orientation à partir de l'*orientation locale x.*



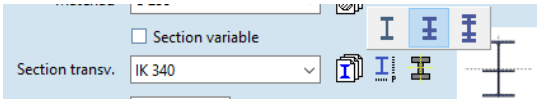
Matériau, section transversale, orientation locale x

La définition du matériau, de la section transversale et de la direction locale X est similaire à celle des fermes.
Si la *section transversale variable* est cochée, les sections transversales de début et de fin peuvent être différentes. Pour calculer des sections transversales intermédiaires correctes, certains critères doivent être remplis.
1. Les deux sections transversales doivent être à paroi béton ou à paroi métal.
2. Les sections transversales béton doivent avoir le même nombre d'ouvertures et les polygones respectifs doivent avoir le même nombre de points.
3. Les sections transversales métal doivent être du même type.

Profilés en I Renforcés



Choix de l'édition paramétrique de la section transversale pour les profils en I, les profils en I renforcés ou doublement renforcés affiche une petite palette pour choisir un type paramétrique.





ITT TARTOK

Si vous choisissez un type différent du type actuel, le programme importera les paramètres appropriés de la section transversale actuelle. Si une forme en I simple est sélectionnée au lieu d'une forme renforcée, le dialogue paramétrique affiche la section transversale du noyau. La section transversale du noyau est le I supérieur du profil renforcé et le I central du profil doublement renforcé.
Lorsque l'on spécifie un profil en I renforcé de section variable, il est courant que le renfort à un point d'extrémité de l'élément soit réduit à presque zéro. Étant donné que les sections en I de départ et d'arrivée doivent être du même type, l'extrémité sans renfort ne peut être qu'approximatif en fixant la hauteur minimale du renfort. La boîte de dialogue paramétrique pour les profils renforcés offre un bouton séparé *Fermer le renfort* pour définir une telle section d'extrémité (*3.1.16 Bibliothèque de sections transversales).*

Référence automatique

Le vecteur de référence sera généré par le programme conformément à la section transversale *4.9.22. Références*

L'orientation de l'axe x local de l'élément peut être inversée ou peut être réglée sur Auto, ce qui signifie que les directions x locales seront automatiquement définies en fonction des coordonnées de fin de poutre.

Angle de référence

La rotation des sections transversales est facilitée par l'angle de référence. Le système automatique de coordonnées locales (et la section transversale) peut être tourné autour de l'axe de l'élément selon un angle personnalisé. Si l'élément est parallèle à la direction globale Z, l'angle est relatif à l'axe global X. Dans tous les autres cas, l'angle est relatif à l'axe global Z.

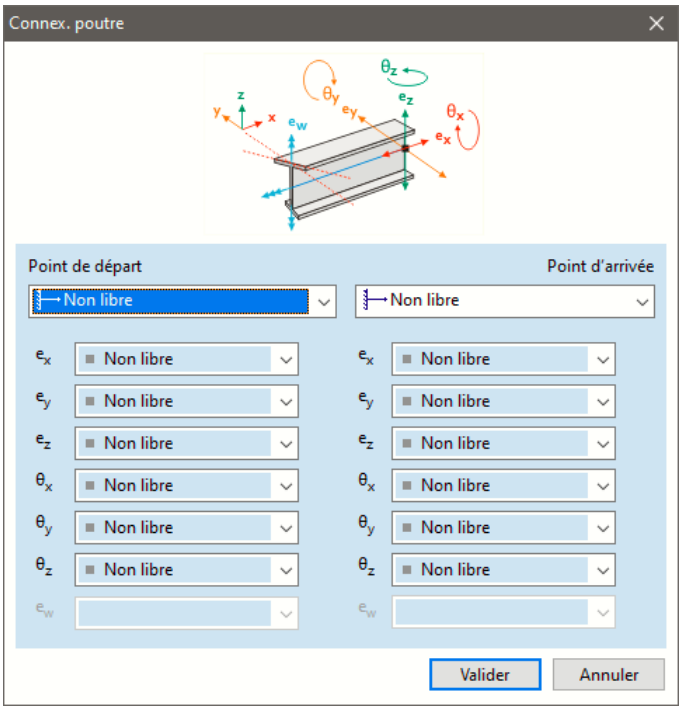
Les éléments de la poutre sont affichés sur l'écran sous forme linéaires bleues.

Excentricité

Les éléments de poutre peuvent présenter une excentricité dans les directions locales y et z par rapport à l'axe logique reliant les nœuds d'extrémité. Voir... *4.9.9.2.1. Excentricité des poutres et nervures*

Libertés aux extrémités

. Cliquez sur le bouton *Configuration...* pour définir les libertés aux extrémités des éléments sélectionnés. Les libertés aux extrémités suppriment la connexion entre les degrés de liberté des éléments sélectionnés (dans le système de coordonnées local) et les nœuds. Les libertés aux extrémités sont définies par six ou sept (*4.9.9.3 Poutre aux 7 DDL - Module 7 DDL*) codes pour chaque extrémité : ex, ey, ez, θx, θy, θz, ew. Chaque code correspond à une composante de force interne locale, ew représente le gauchissement. Par défaut, les extrémités de la poutre sont considérées comme connectées de manière rigide (tous les codes sont de connexion rigide) aux nœuds. En définissant un code comme connexion articulée, la composante de force interne correspondante de l'extrémité respective sera libérée. Un code de connexion semi-rigide peut être attribué aux composantes de rotation dans le plan des extrémités de la poutre.
Les types de liberté aux extrémités sont affichés dans le tableau des poutres ou des nervures, mais des tableaux séparés sont également créés dans le navigateur de tableaux pour les libertés aux extrémités des poutres et des nervures avec tous les détails.



En haut, une liste de configurations types prédéfinies est affichée dans deux listes déroulantes, l'une pour le point de départ et l'autre pour le point d'arrivée, mais les sorties finales peuvent être personnalisées plus loin

Symbole graphique d'un code de connexion *rigide* (la composante de déplacement local ou la déformation correspondante de l'extrémité de la poutre est transférée au nœud)

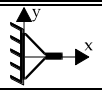
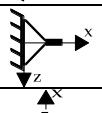
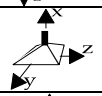
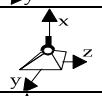
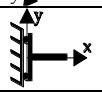
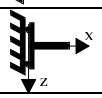
Symbole graphique d'un code de connexion à *rotule* (la composante de déplacement local ou la déformation correspondante de l'extrémité de la poutre n'est pas transférée au nœud)

Symbole graphique d'un code de connexion *semi-rigide* (la composante de déplacement local ou la déformation correspondante de l'extrémité de la poutre est partiellement transférée au nœud). La connexion semi-rigide nécessite une caractéristique de ressort, comme dans le cas des ressorts et des éléments d'appui nodaux. Le menu déroulant contient uniquement les caractéristiques du ressort applicables. Une nouvelle caractéristique peut être définie en cliquant sur l'icône du ressort.

voir... *3.1.17. Bibliothèque des caractéristiques de ressorts*. Les caractéristiques peuvent être n'importe quelle fonction monotone croissante.

- Symbole graphique de l'assemblage *acier-plastique* : la valeur maximale du moment aux points d'extrémité est calculée à partir des propriétés du matériau et de la section transversale. Disponible uniquement pour les éléments en acier et uniquement pour les composantes ex, θy, θz.
- Symbole graphique de la rotule *Poussée* personnalisable : la relation moment / rotation correspondante est définie par l'utilisateur. . Cliquez sur la double flèche pour sélectionner, charger ou modifier la courbe moment-rotation. Disponible uniquement pour les composantes θy, θz

Le tableau ci-dessous montre l'exploitation des connexions pour certaines configurations typique :

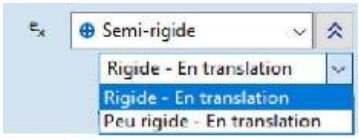
Liberté aux extrémités	*Symbole*
*Rotule dans le plan **x-y.*** Impossible de transmettre le moment Mz.	
*Rotule dans le plan **x-z.*** Impossible de transmettre le moment My	
*Rotule dans le plan **x-y** et **x-z.*** Impossible de transmettre les moments Mz et My	
*Rotule dans le plan **x-y** et **x-z et** rotation libre autour de l'axe **x** local (rotule sphérique). Ne* peut pas transmettre les moments Mx, My et Mz.	
*Translation libre le long de l'axe **y** local.* Impossible de transmettre la force de cisaillement Vy.	
*Translation libre le long de l'axe **z** local.* Impossible de transmettre la force de cisaillement Vz.	

☞ **Il faut veiller à ne pas connecter un élément ou un groupe d'éléments de telle sorte que des translations ou des rotations rigides du corps soient introduites.**
Par exemple, si vous spécifiez des rotules sphériques aux deux extrémités (code: 000111), une rotation du corps rigide autour de l'axe de l'élément est introduite. Dans ce cas, à l'une des extrémités, vous ne pouvez pas libérer le degré de liberté de l'élément correspondant à la rotation autour de l'axe *x* local (par exemple, code numérique de l'extrémité ***i:*** 000011 ; code numérique de l'extrémité ***j:*** 000111).

Exemple : Nœud de départ ■■■■○○ Nœud d'arrivée ■■■○○○

Connexion semi-rigide

Pour définir des charnières semi-rigides, choisissez Semi-rigide dans la liste déroulante et entrez les caractéristiques de ressort trans- ou rotatif correspondantes. Pour la modifier, cliquez sur la double flèche pour faire apparaître le bouton et la deuxième liste déroulante. Les charnières semi-rigides peuvent être affectées à tous les composants (3 composants en translation et 3 composants en rotation).



Cliquez sur l'icône du ressort pour modifier une caractéristique du ressort ou sélectionnez l'une des caractéristiques prédéfinies.
Le diagramme moment - rotation relative d'une connexion est modélisé par un ressort de rotation élastique linéaire ou non linéaire. La caractéristique non linéaire ne peut être utilisée que dans une analyse statique non linéaire. Dans une analyse statique linéaire, de vibration ou de flambement, la rigidité initiale de la connexion est prise en compte.
Si une nouvelle caractéristique doit être définie, les valeurs de rigidité par défaut (rigidité de translation $_{Ku}$ et rigidité de rotation $_{Kr}$) sont calculées sur la base des caractéristiques en section transversale, *mais sont multipliées par 1000* comme suit.

La rigidité de la translation du $_{Ku}$:

$$x: K_u = 1000 \cdot \frac{A_x \cdot E_x}{\ell}$$

où *Ax est* la section transversale, *Ex est le* module de Young et l est la longueur de l'élément,

Les rigidités de rotation $_{Kr:}$

$$yy: K_r = 1000 \cdot \frac{4 \cdot E_x \cdot I_y}{\ell}$$

$$zz: K_r = 1000 \cdot \frac{4 \cdot E_x \cdot I_z}{\ell}$$

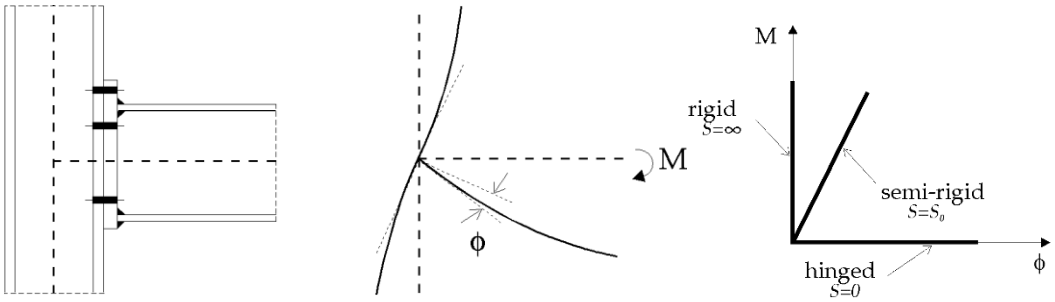
Où *Iy* et *Iz sont* les inerties de flexion de la section transversale.

Le programme ne calcule pas de valeur par défaut pour les composantes de déformation en cisaillement y et z et pour la composante de torsion.

La rigidité des articulations doit être déterminée en fonction de son système de coordonnées local. Généralement, la raideur initiale (ou son certain quotient) des caractéristiques non linéaires est donnée.

L'exemple suivant montre comment interpréter la rigidité en rotation d'un joint en acier:

Connexion : *Projet:* *Moment - Diagramme de rotation relative*



☞ **Par exemple, dans le cas des structures à ossature métallique, l'Eurocode EN 1993-1-8 donne les détails d'application.**

Résistance

Aux connexions semi-rigides, on peut attribuer une résistance, c'est-à-dire la force/moment maximum qui peut se développer dans la connexion. La valeur peut être définie dans la fenêtre des caractéristiques du ressort.
Dans le cas de l'acier, les valeurs par défaut pour les valeurs de résistance *Fu*, *My* et *Mz* sont calculées sur la base des caractéristiques de la section transversale et de la limite d'élasticité du matériau. Dans le cas de tout autre matériau, aucune valeur de résistance par défaut n'est calculée par le programme.

☞ **Le paramètre de résistance n'est utilisé que dans le cas d'une analyse statique/dynamique non linéaire.**

Rotule en acier et plastique

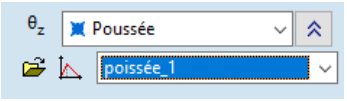


Pour définir des charnières en acier et en plastique, choisissez P*lastique* dans la liste déroulante. Les charnières en plastique ne peuvent être définies que pour le déplacement dans la direction x et les composantes de rotation y et z. La résistance axiale ou de moment calculée s'affiche mais ne peut pas être modifiée.

Si des éléments avec des matériaux ou des sections transversales différentes sont sélectionnés, aucune valeur n'apparaîtra dans le champ d'édition, mais les rotules seront définies avec la résistance appropriée.
Après avoir terminé l'analyse non linéaire et affiché les diagrammes des forces internes de la poutre, les rotules qui sont entrées en état plastique à l'étape de charge actuelle deviennent rouges. Le chiffre à côté de la rotule indique l'ordre dans lequel elle est entrée en état plastique. La rotule portant le numéro 1 est la rotule qui est devenue plastique en premier. Lorsque les rotules ne sont pas rouges, le moment limite de plasticité n'est pas encore atteint.

☞ **Les rotules en acier et en plastique ne peuvent être utilisées qu'avec des poutres en acier, mais seulement en cas d'analyse statique ou dynamique non linéaire.**

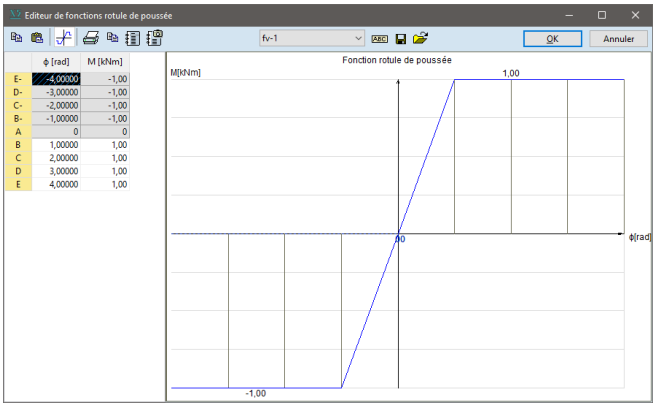
Rotule Poussée



Pour définir une rotule de poussée, choisissez *Poussée* dans la liste déroulante puis sélectionnez une fonction dans la liste déroulante, chargez une fonction précédemment enregistrée dans la bibliothèque ou éditez le diagramme moment-rotation en cliquant sur le bouton Editeur de fonction. Pour modifier une rotule de poussée, cliquez sur la double flèche pour afficher les boutons et la deuxième liste déroulante.

Un total de cinq points peut être défini pour les deux directions du diagramme moment - rotation. Cela permet de modéliser le comportement complexe des connexions, y compris la possibilité de durcissement, de ramollissement et de dégradation de la résistance. Le comportement après le dernier point est extrapolé sur la base des points D et E. Le diagramme est défini en spécifiant les coordonnées de moment et de rotation correspondantes dans le tableau sur le côté gauche de la fenêtre. Le diagramme créé est symétrique par défaut, mais il est possible de passer outre en cliquant sur le bouton de *fonction Symétrique*. Les diagrammes créés peuvent être sauvegardés et utilisés pour d'autres éléments du projet.

Pour faciliter l'analyse numérique et prévenir les difficultés de convergence, il est recommandé d'éviter les chutes soudaines de capacité et les sections transversales parfaitement plastiques dans le diagramme. Au lieu de cela, détendez le diagramme, en vous assurant qu'il y a au moins une petite différence dans les deux coordonnées de points consécutifs.
Cela n'influence pas les résultats, mais améliore considérablement la stabilité numérique.

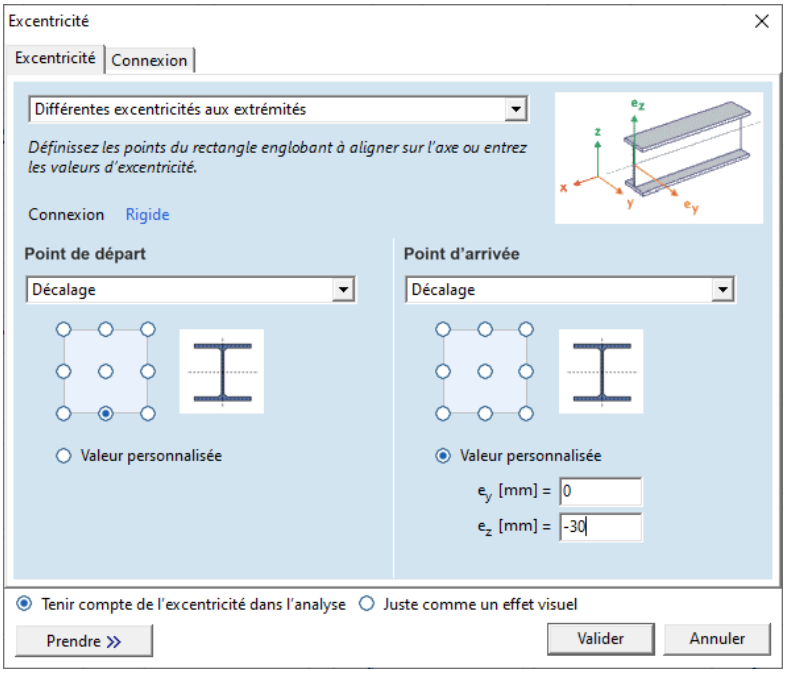


Après avoir terminé l'analyse non linéaire et affiché les diagrammes des forces internes de la poutre, les rotules qui sont devenues plastiques par l'étape de charge actuelle deviennent rouges. Le chiffre à côté de la rotule indique l'ordre dans lequel elle est entrée en état plastique. La rotule portant le numéro 1 est la rotule qui est devenue plastique en premier. Lorsque les rotules ne sont pas rouges, le moment limite de plasticité n'est pas encore atteint.

Si un code de liberté d'extrémité de poutre est une d'une connexion à rotule, l'extrémité de la poutre est affichée à l'écran sous la forme d'un cercle bleu. S'il a une valeur de rigidité, une croix bleue est inscrite. Si le code de liberté de l'extrémité de la poutre correspond à une rotule sphérique, il est affiché sous la forme d'un cercle rouge.
Les rotules en plastique sont présentées sous forme de cercles pleins.
Les poutres définis apparaissent sous forme linéaires bleu foncé.

4.9.9.2.1. Excentricité des poutres et nervures

Les éléments de poutre ou de nervure indépendante peuvent avoir une excentricité dans les directions locales y et z par rapport à l'axe logique reliant les nœuds d'extrémité. Les excentricités attribuées aux points d'extrémité peuvent être différentes, dans ce cas l'excentricité des sections transversales intermédiaires change linéairement entre les deux valeurs.
L'excentricité peut être éditée de deux façons: soit à partir du dialogue de la poutre, soit directement à partir de la barre d'outils de l'onglet *Éléments*.
Vous pouvez définir si l'excentricité doit être définie physiquement sur le modèle (Prendre en compte l'excentricité dans l'analyse), ou si le décalage doit apparaître uniquement comme un effet visuel. Cela peut être contrôlé en utilisant les boutons radio en bas



Excentricité : Méthodes de définition

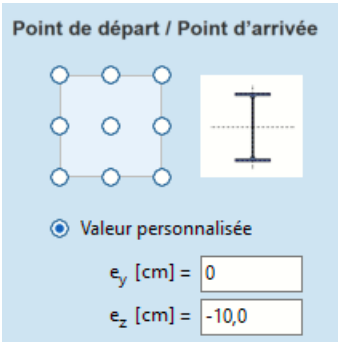
La méthode appropriée peut être sélectionnée dans la liste déroulante.
- Pas d'excentricité
- Décalage uniforme
- Aligné sur le groupe d'excentricité
- Alignement sur un autre élément structurel
- Excentricité différente aux points d'extrémité

Pas d'excentricité

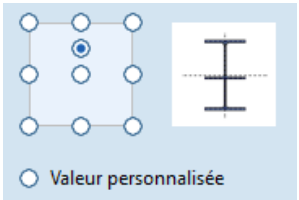
Supprime l'excentricité de l'élément structurel.

Décalage uniforme

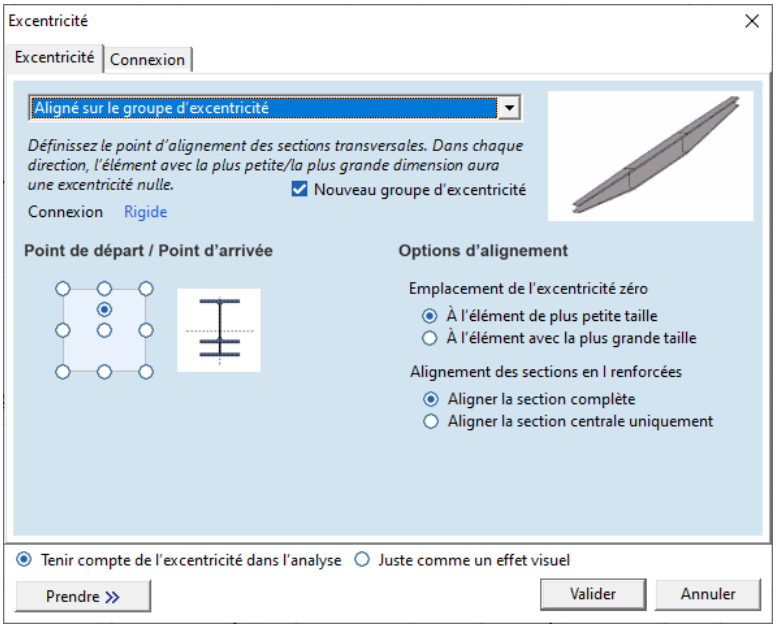
Les excentricités e_y et e_z sont constantes le long de l'élément de structure. Le décalage peut être défini en cliquant sur les boutons radio placés sur les points sélectionnés du rectangle de délimitation de la section transversale, faisant ainsi en sorte que le point sélectionné s'ajuste sur l'axe logique de l'élément ou en choisissant une valeur personnalisée et en entrant les valeurs.
Le rectangle de délimitation est affiché dans le système local habituel y-z, c'est-à-dire que l'axe y pointe horizontalement vers la droite tandis que l'axe z pointe verticalement vers le haut.



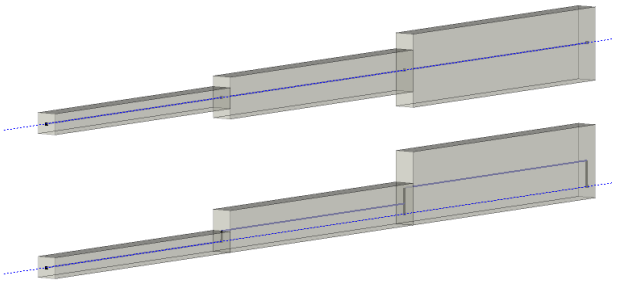
Si l'élément est une poutre en I renforcée ou doublement renforcée, une position supplémentaire apparaît parmi les options, le centre de gravité de la section transversale du noyau. La section transversale du noyau est le I supérieur du profilé en I renforcé et le I médian du profilé en I doublement renforcé.



Aligné sur le groupe D'excentricité

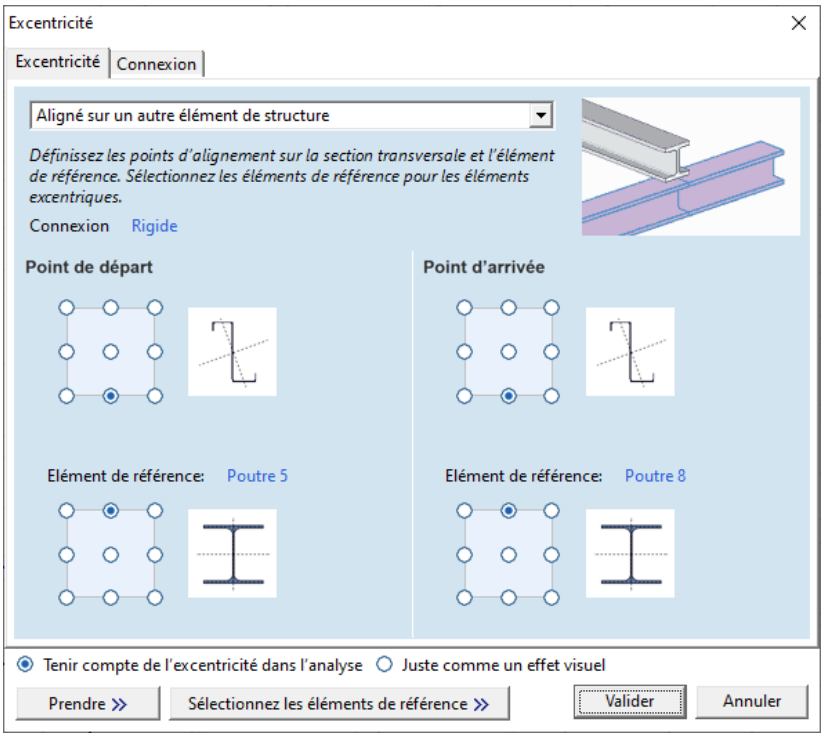


Les éléments structurels sélectionnés forment un groupe d'excentricité, tout comme les domaines. L'excentricité ey et ez de l'élément le plus petit/le plus grand dans la direction respective (*voir Options d'alignement*) sera mise à zéro, tandis que les autres éléments se déplaceront de manière que leur point sélectionné sur le rectangle de délimitation reste aligné. Des options d'alignement spéciales sont disponibles pour les profilés en I renforcés. Lorsque l'option *Aligner la section complète* est sélectionnée, l'alignement sera calculé de la même manière que pour les autres sections transversales. Si l'option *Aligner la section centrale uniquement* est sélectionnée, le calcul de l'alignement ne tient pas compte des renforts.



Aligné sur un autre élément structurel

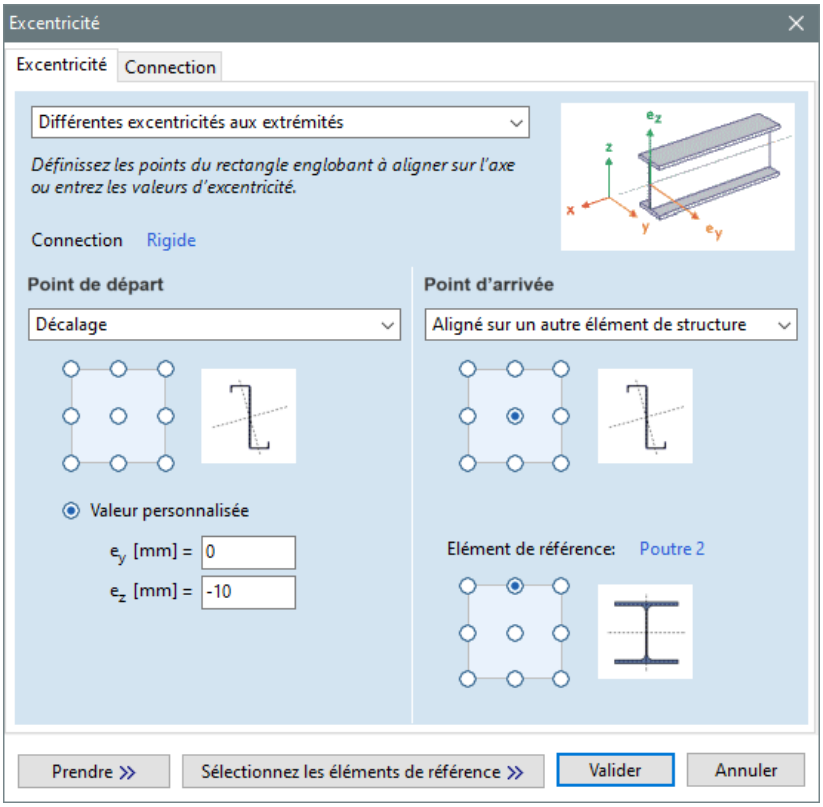
C'est une situation courante lorsqu'une poutre repose sur une autre. Choisissez Aligné sur un autre élément structurel pour définir l'excentricité appropriée



Définissez le point d'alignement au point de départ et au point d'arrivée de l'élément structurel en haut, puis définissez le point d'alignement pour les éléments de référence connectés aux points respectifs.
En cliquant sur le bouton Sélectionner les éléments de référence, la sélection est conservée mais il est également possible de sélectionner des fermes, des poutres ou des nervures qui peuvent être utilisées comme éléments de référence. Un élément de référence doit avoir un nœud commun avec les éléments à modifier. L'élément de référence peut également être excentré, mais il ne doit pas être aligné sur un autre élément structurel.
Si les éléments de référence sélectionnés répondent aux critères ci-dessus, l'excentricité de l'élément est ajustée pour correspondre aux points spécifiés des deux rectangles limitrophes.
La modification de l'excentricité ou de la section transversale d'un élément de référence met immédiatement à jour l'excentricité des éléments qui lui sont alignés.

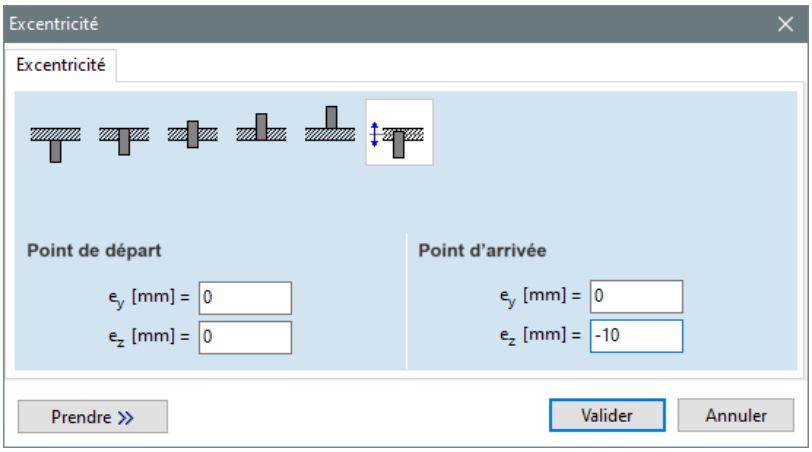
Excentricité différente aux extrémités

Permet de définir une excentricité différente aux points d'extrémité, soit en définissant un décalage, soit en alignant le point d'extrémité sur un autre élément structurel.
Pour plus de détails, voir la description de ces méthodes ci-dessus.



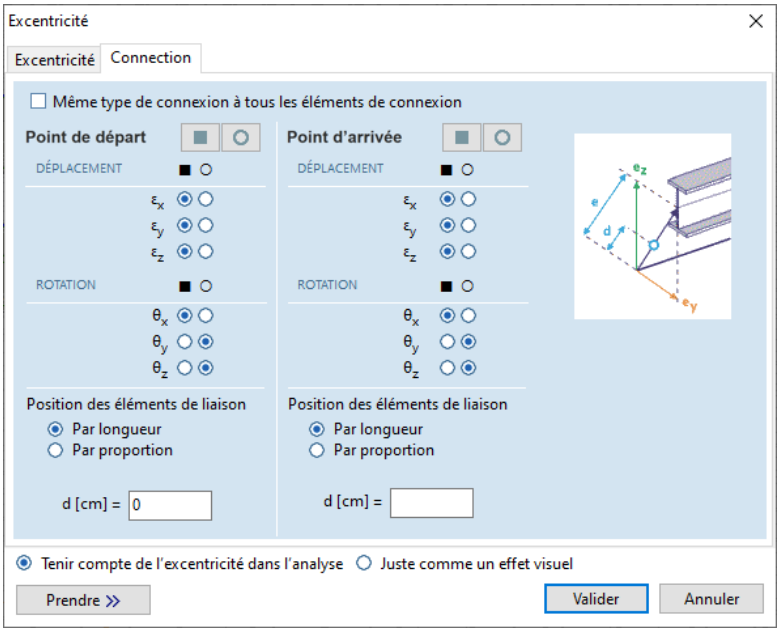
Excentricité des nervures reliées aux éléments de surface.

Dans le cas de nervures connectées à des éléments de surface, la dernière option de la barre d'outils est Valeur personnalisée, où les excentricités locales y et z peuvent être définies indépendamment aux points d'extrémité. Dans les autres cas, e_y = 0. Voir... *4.9.9.4 Nervure*



Connexion

Une connexion excentrique peut être rigide ou articulée en fonction de chaque composante de déplacement ou de rotation.
Signes: ■ = connexion rigide, ○ = déplacement (ε) ou rotation libre θ).
Si la connexion n'est pas rigide, un élément de liaison est automatiquement généré entre le nœud d'extrémité et le point d'extrémité excentrique.
La position de l'élément de liaison peut être définie Par la longueur ou Par le rapport. Si l'élément est aligné sur un élément de référence, une troisième option est également disponible : Calculer la position. Connaissant la section transversale des deux éléments structurels, le programme calcule la position de l'élément de liaison.



Les deux boutons définissent un type de connexion prédéfini



Connexion rigide
Définit tous les composants comme étant rigides.



Connexion à charnière
Définit toutes les composantes comme rigides, sauf la rotation autour des axes y et z.

Même type de connexion à tous les éléments de connexion
Si l'élément excentrique est connecté à plus d'un élément, ce commutateur établit la même connexion à chaque point de connexion.

Récupérer Les excentricités des poutres et des nervures peuvent être copiées à partir d'une autre poutre ou nervure si cette excentricité n'est pas déterminée à partir de l'alignement sur un élément de référence.

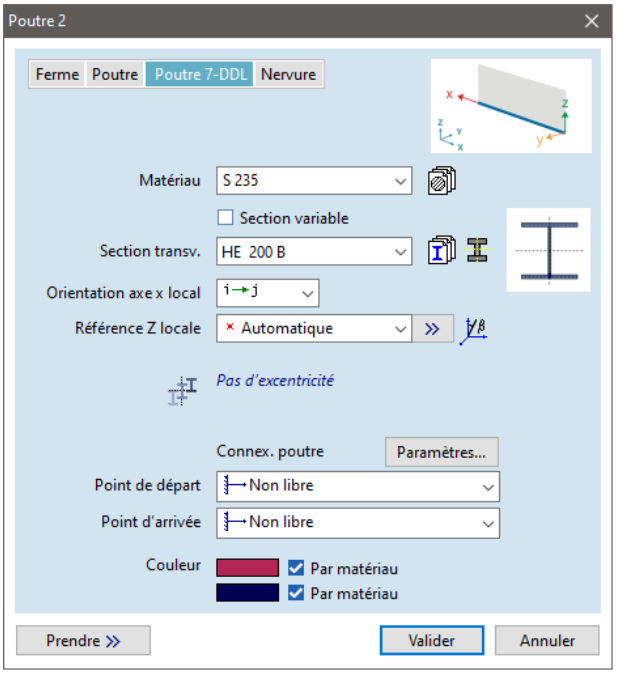
4.9.9.3. Poutre aux 7 DDL - Module 7 DDL



Les poutres aux 7 DDL sont des éléments droits à deux nœuds dont les propriétés de la section transversale sont constantes ou variables (changement linéaire) sur la longueur de la poutre. Un point de référence est utilisé pour orienter arbitrairement l'élément dans l'espace tridimensionnel (pour définir le plan local x-z). Outre ses trois degrés de liberté en translation et en rotation, un septième degré de liberté lié à la déformation est défini pour chaque nœud des éléments. Les extrémités des éléments peuvent être libérées de manière arbitraire.

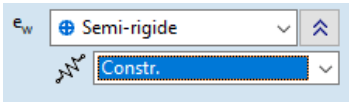
Trois forces internes orthogonales, une axiale et deux de cisaillement (N_x, V_y, V_z), et trois moments internes, un de torsion et deux de flexion (T_x, M_y, M_z) et un bi-moment (B) sont calculés à chaque section transversale de chaque élément [16, 41, 42, 43, 44].

Les autres paramètres sont les mêmes que ceux des éléments de poutre.



Connexion aux Extrémités

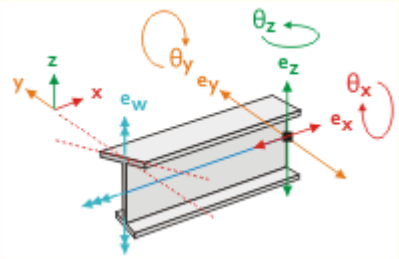
Les connexions aux extrémités peuvent être définis pour le degré de liberté de déformation (ew).



Fixé : Le degré de liberté de déformation à l'extrémité de la poutre est le même que celui du nœud.

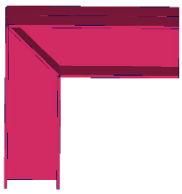
Libre : La poutre peut se déformer librement à son extrémité

Semi-rigide : Ce type de connexion permet de contrôler le transfert du gauchissement sur la base des travaux *de BASAGLIA et AL*. [40] Ce type spécial de caractéristiques de ressort est défini par un coefficient décrivant la transmission du gauchissement entre le nœud et l'extrémité de la poutre, de sorte que les poutres connectées peuvent avoir un gauchissement différent. La contrainte appliquée à la transmission du gauchissement est la suivante

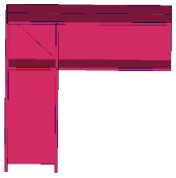


$$w_{node} = WF \cdot w_{beam\ end}$$

La valeur de WF dépend du type de joint. Les types les plus courants sont:



Diagonal



Boite



Boite-diagonal

Une articulation diagonale assure une transmission complète et directe du gauchissement, une articulation en boîte assure une transmission complète et inverse du gauchissement, tandis qu'une articulation boîte-diagonale n'assure pas de transmission.
Les coefficients WF respectifs sont les suivants

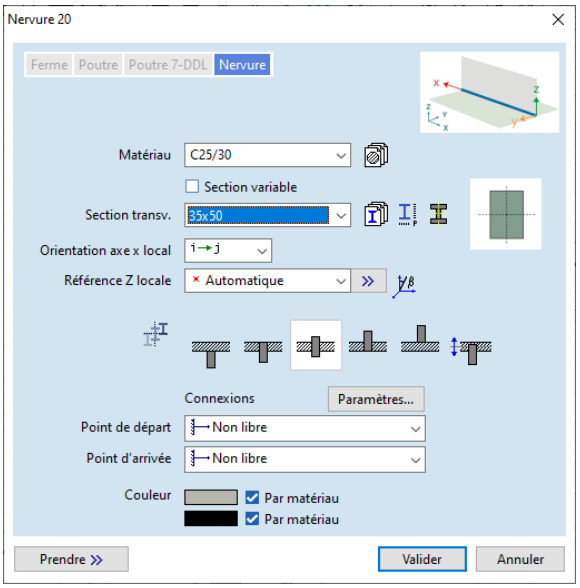
Complète, directe (diagonale)	*WF* = 1
Complète, inverse (boîte)	*WF* = –1
Rigide (boîte-diagonale):	*WF* = 0

Pour les autres types de joints, le WF peut être déterminé en construisant un modèle de coque du joint.

4.9.9.4. Nervure



Les éléments de nervures peuvent être utilisés, indépendamment ou en conjonction avec des éléments surfaciques (plaques, membranes et coquilles) pour modéliser des structures surfaciques nervurées. Lorsqu'elles sont utilisées attachées à des éléments surfaciques, les nervures peuvent être connectées de manière centrale ou excentrique aux éléments surfaciques. Les propriétés des éléments surfaciques correspondants sont utilisées pour orienter l'élément dans l'espace tridimensionnel (pour définir le plan local *x-z)*. Lorsqu'elles sont utilisées indépendamment, les nervures peuvent modéliser des structures d'ossature de la même manière que l'élément poutre, mais elles peuvent prendre en compte les déformations en cisaillement. Un point de référence ou un vecteur est nécessaire pour orienter arbitrairement l'élément dans l'espace 3D.



Les éléments de nervures sont des éléments iso paramétriques à trois nœuds, droits, avec des propriétés de section transversale constante ou variable (changeant linéairement) sur la longueur de la nervure, et avec des fonctions d'interpolation quadratique. Trois degrés de liberté en translation et trois degrés de liberté en rotation sont définis pour les nœuds de l'élément. Trois forces internes orthogonales, une axiale et deux de cisaillement (*Nx, Vy, Vz*), et trois moments internes, un de torsion et deux de flexion (*Tx, My, Mz*) sont calculés à chaque nœud de chaque élément.

La variation des forces internes à l'intérieur d'un élément peut être considérée comme linéaire.

Définir

Vous devez attribuer les propriétés suivantes :

Matériau, Section transversale, Orientation locale x

La définition du matériau, de la section transversale et de la direction locale X est similaire à celle des fermes.
Si la *section transversale variable* est cochée, les sections transversales de début et de fin peuvent être différentes. Pour calculer des sections transversales intermédiaires correctes, certains critères doivent être remplis.
1. Les deux sections transversales doivent être métal ou béton.
2. Les sections transversales béton doivent avoir le même nombre d'ouvertures et les polygones respectifs doivent avoir le même nombre de points.
3. Les sections transversales métal doivent être du même type.

Matériau

Le matériau de la nervure peut être différent du matériau surfacique (s'il est relié à une surface).

Section transversale

La section transversale de l'élément de nervure est prise en compte comme le montre la figure ci-dessous :

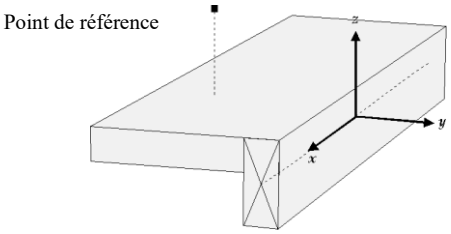
Référence automatique

Le vecteur de référence sera généré par le programme conformément à la section transversale *4.9.22. Références*

Référence

Nervure indépendante :

Le système de coordonnées locales est défini comme suit: l'axe des éléments définit l'axe local *x* ; L'axe z est défini par le point de référence ou le vecteur ; l'axe local *y* est selon la règle de la main droite.



Nervures reliées à un domaine :

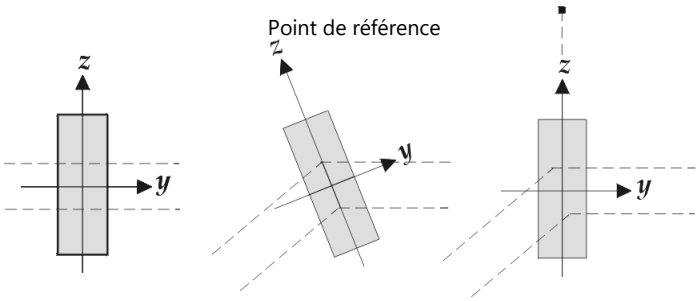
Le système de coordonnées locales est défini comme suit : l'axe de l'élément définit l'axe local *x* ; l'axe local z est parallèle à l'axe *z de l'élément surfacique* ; l'axe local *y* est parallèle au plan de l'élément surfacique, orienté selon la règle de la main droite.

La figure ci-dessous montre que lorsque la nervure est située sur le bord de deux éléments surfaciques qui forment un angle, l'axe z local est orienté par la moyenne des axes normaux des surfaces. Si plus de deux surfaces sont reliées au bord et que vous en sélectionnez une ou deux, une référence automatique sera disponible lors de la définition de la nervure.

Si plusieurs domaines sont connectés à la nervure, sélectionnez un domaine (ou deux domaines) avant de définir une nervure pour enregistrer la nervure à ce domaine. Les domaines enregistrés sur la nervure peuvent être vérifiés dans l'info-bulle de l'élément qui apparaît si l'onglet Éléments est actif et que la souris survole l'élément.

L'enregistrement des domaines prend également en compte les parties visibles. Si une nervure se trouve au bord de plusieurs domaines, et qu'un seul de ces domaines est visible (les parties auxquelles appartiennent les autres domaines sont désactivées), la nervure sera enregistrée dans le seul domaine visible.

Les propriétés de la section transversale doivent être définies dans ce système de coordonnées.



Angle de référence

Le système automatique de coordonnées locales (et la section transversale) peut être tourné autour de l'axe de l'élément selon un angle personnalisé. Si l'élément est parallèle à la direction globale Z, l'angle est relatif à l'axe global X. Dans tous les autres cas, l'angle est relatif à l'axe global Z.

Connexions d'extrémités

Les libertés aux extrémités peuvent être définies pour les nervures de la même manière que pour les poutres. Par défaut, les deux extrémités sont fixes.
Les types de versions finales sont affichés dans le tableau des côtes, mais un tableau distinct est également créé dans le navigateur de tableaux pour les versions finales des nervures avec tous les détails.

Excentricité des nervures

Les nervures sont le plus souvent utilisées connectées à des éléments de surface (domaines), mais elles peuvent également être définies comme des éléments de ligne indépendants. Dans ce cas, leur excentricité peut être définie de la même manière que pour les poutres (voir... *4.9.9.2.1. Excentricité des poutres et nervures*).
Si les nervures sont connectées à des éléments de surface (domaines), leur excentricité peut être définie comme suit.
Si plus de deux surfaces sont reliées au bord, sélectionnez une ou deux d'entre elles pour définir l'excentricité de la nervure.
L'excentricité d'une nervure est donnée par la distance du centre de gravité de sa section transversale au plan du projet de la surface (plan neutre). Elle est positive si le centre de gravité se trouve sur la direction positive de son axe z local.
Il existe quatre options pour régler l'excentricité des nervures. La nervure inférieure, la nervure supérieure, la nervure dans le plan médian ou l'excentricité personnalisée.

Types de nervures dans le cas d'une dalle en béton et d'une nervure en béton



Nervure inférieure | *Nervure inférieure Intégrée* | *Nervure dans Le plan médian* | *Nervure supérieure Intégrée* | *Nervure supérieure* | *Excentricité personnalisée*

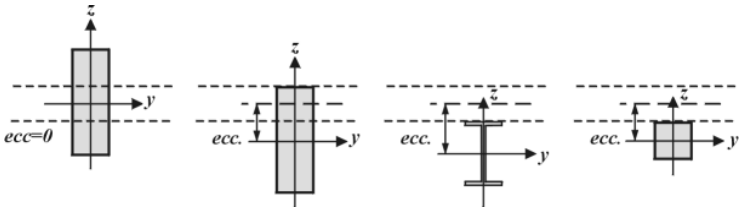
Types de nervures dans le cas d'une dalle en béton et d'une nervure d'un autre matériau



Nervure inférieure | *Nervure supérieure* | *Nervure dans le plan médian* | *Excentricité personnalisée*

Dans les trois premiers cas, l'excentricité réelle est calculée à partir de la section transversale des nervures et de l'épaisseur de la plaque. Si la nervure est en béton, la définition des nervures supérieure et inférieure est différente, de sorte que les icones des barres d'outils changent en fonction du matériau de la nervure. Si la section transversale de la nervure ou l'épaisseur de la plaque change, l'excentricité est automatiquement recalculée.
Si la nervure est en acier ou en bois, reliée à une coque et définie comme une nervure supérieure ou inférieure, une rigidité de liaison axiale supplémentaire peut être définie.

☞ **Dans le cas de connexions entre plaques et nervures en béton armé, la section transversale des nervures doit inclure l'épaisseur de la plaque. Dans les autres cas (structures en acier ou en bois), la section transversale est fixée au plan supérieur ou inférieur de la plaque.**



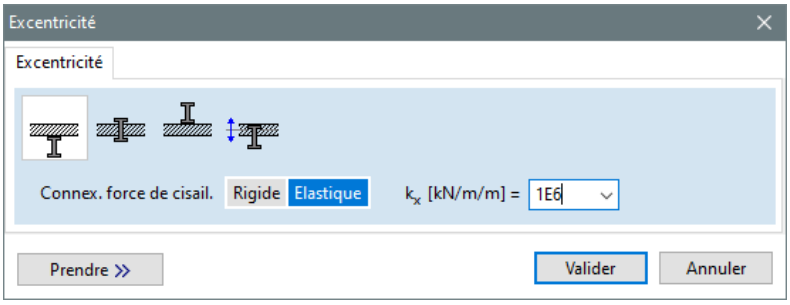
☞ **Pour les plaques, l'excentricité de la nervure va modifier l'inertie en flexion de la nervure comme suit:**

$$I_y^* = I_y + A \cdot exc^2$$

Pour les coques, en raison de la connexion excentrique de la nervure à la coque, des forces axiales apparaissent dans la nervure et la coque.

Liaison de cisaillement

Dans le cas des nervures supérieures et inférieures (sauf pour les structures en béton), la connexion de cisaillement entre la dalle et la nervure peut être réglée, qui peut être *rigide* ou *élastique*. La rigidité élastique - composante *kx* - doit être définie par l'utilisateur, elle n'est pas calculée par le programme (la valeur par défaut est 1E+6 kN/m²).
En utilisant le réglage *élastique*, la force de liaison spécifique de cisaillement longitudinal (composante *Vxz*) est également calculée (elle n'est pas calculée avec les réglages rigides).



Réduction de la rigidité

Grâce à la norme Eurocode, la réduction de la rigidité peut être définie pour certains éléments architecturaux (tels que les poteaux, les poutres, les murs, les dalles et autres types d'éléments) pour l'analyse du spectre de réponse modale. Pour plus de détails, voir le chapitre *3.3.10. Réduction de la rigidité*. Dans le cas des nervures en béton, deux types de facteurs de réduction peuvent être définis : k_A et k_I.
Le facteur k_A réduit la surface de la section transversale du béton. Il a un effet uniquement sur la rigidité à l'allongement et n'a aucun effet sur la rigidité au cisaillement. Le facteur k_I *n'abaisse* que la rigidité à la flexion de la section transversale.

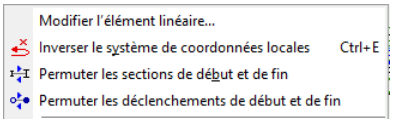
Les nervures apparaissent sous forme linéaires bleues.

Prendre >>

Les propriétés d'un autre élément peuvent être récupérées et assignées aux éléments sélectionnés. Cliquer sur le bouton "Prendre" ferme la boîte de dialogue. Cliquer sur un élément permet de récupérer la valeur et d'afficher à nouveau la boîte de dialogue.
Seules les propriétés où la case est cochée seront copiées.

Menu déroulant

Si l'onglet *Élément* est sélectionné, cliquez avec le bouton droit de la souris sur les éléments linéaires pour trouver d'autres outils utiles fonctionnant sur les éléments linéaires sélectionnés. Si aucun élément n'a été sélectionné, ces fonctions modifieront l'élément sur lequel vous avez cliqué.



Inverser le système de coordonnées locales

Définit la direction *x* locale de l'élément linéaire sélectionné dans la direction inverse. Les sections transversales de début et de fin des poutres / nervures biseauté et leurs connexions d'extrémités resteront dans leur position initiale ; seule leur interprétation sera différente.

Échanger la section transversale de début et de fin

Permet d'échanger les sections transversales de début et de fin des section transversales variable sélectionnés des poutres et des nervures
La direction *x* locale reste inchangée.

Échanger les connexions d'extrémité de début et de fin

Permet d'échanger les connexions aux extrémités des poutres/nervures sélectionnés.
La direction *x* locale reste inchangée.

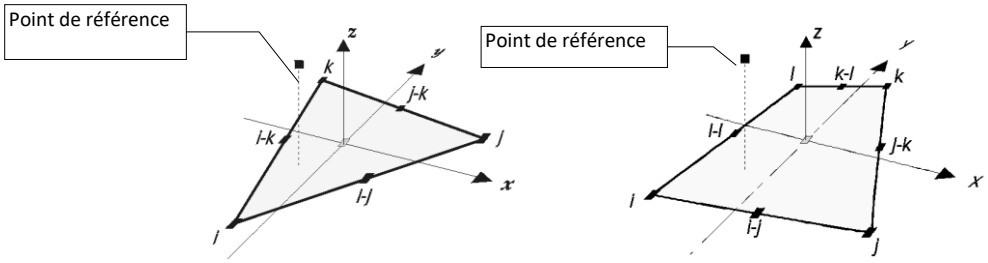
4.9.10. Élément surfacique



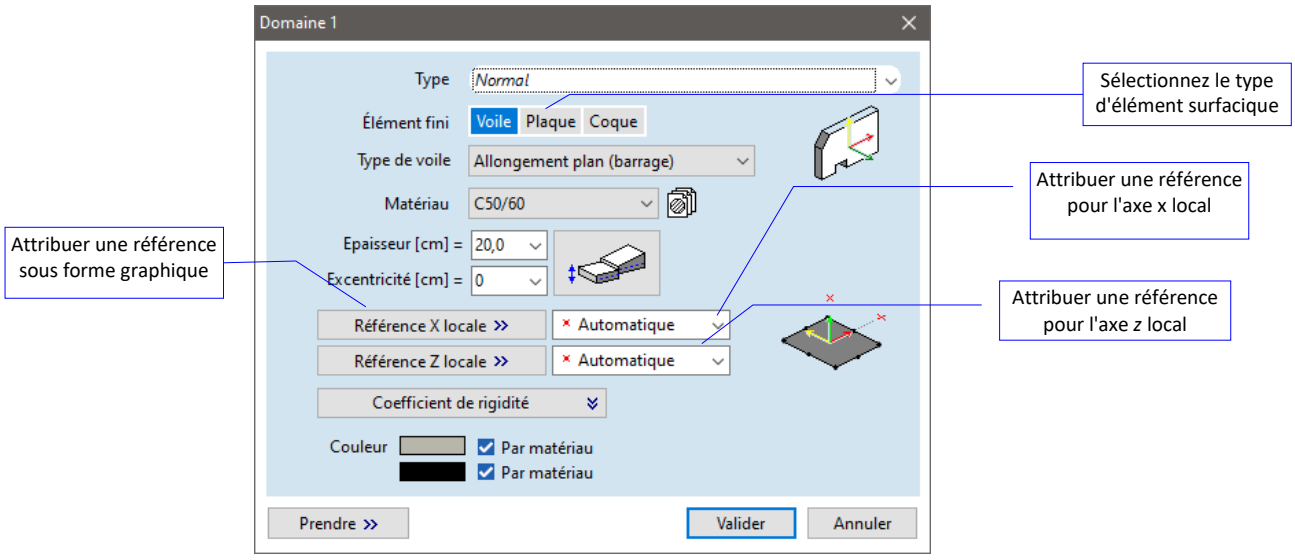
Les éléments surfaciques peuvent être utilisés pour modéliser des membranes (élément membrane), des plaques minces et épaisses (élément plaque) et des coquilles (élément coque) en supposant que les déplacements sont faibles.
Comme éléments surfaciques, vous pouvez utiliser un élément fini triangulaire à six nœuds ou quadrilatéral à huit/neuf nœuds, formulé selon une approche iso paramétrique. Les éléments surfaciques sont plats et ont une épaisseur constante à l'intérieur des éléments.

L'introduction des domaines et du maillage automatique a rendu obsolète la définition des éléments surfacique.

☞ **Il est préférable que l'épaisseur de l'élément ne dépasse pas un dixième de la plus petite taille caractéristique de l'élément structurel modélisé, et la déflexion (w) d'un élément structurel en plaque ou en coque est inférieure à 20 % de son épaisseur (les déplacements sont faibles par rapport à l'épaisseur de la plaque).**
L'exploitation d'éléments dont le rapport entre la longueur des côtés de l'élément le plus long et le plus court est supérieur à 5, ou dont le rapport entre la longueur des côtés de l'élément structurel le plus long et l'épaisseur est supérieur à 100, n'est pas recommandée.
Dans certains cas, lorsque les éléments sont utilisés (qui sont plats avec des bords droits) pour se rapprocher des courbes ou des surfaciques ou des limites des courbes, les résultats obtenus peuvent être médiocres.



4.9.10.1. Voile



Les éléments membranaires peuvent être utilisés pour modéliser des structures plates dont le comportement est dominé par les effets membranaires dans le plan. Les éléments membranaires incorporent uniquement le comportement dans le plan (membrane) (ils n'incluent aucun comportement de flexion).

☞ **L'élément membranaire ne peut être chargé que dans son plan.**
AxisVM utilise huit nœuds avec sérénité,
La contrainte dans le plan ($\sigma_{zz} = \sigma_{xz} = \sigma_{yz} = 0, \epsilon_{xz} = \epsilon_{yz} = 0, \epsilon_{zz} \neq 0$) ou
La déformation dans le plan ($\epsilon_{zz} = \epsilon_{xz} = \epsilon_{yz} = 0, \sigma_{xz} = \sigma_{yz} = 0, \sigma_{zz} \neq 0$)

Les éléments finis comme élément membranaire.
Les forces internes de la membrane sont : n_x, n_y, n_{xy}. En outre, les principales forces internes n_1, n_2 et l'angle α_n sont calculés.
La variation des forces internes à l'intérieur d'un élément peut être considérée comme linéaire.

Les paramètres suivants doivent être spécifiés :

1. Déformation plane ou contrainte plane
2. Matériau
3. Épaisseur
4. Référence (point / vecteur / axe / plan) pour l'axe x local
5. Référence (point/vecteur) pour l'axe z local

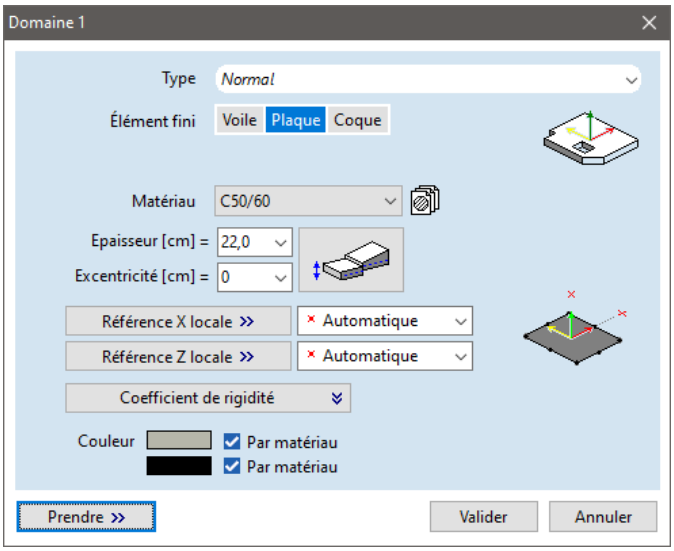


Permet de parcourir la bibliothèque de matériaux pour attribuer un matériau à l'élément. Le matériau sélectionné sera ajouté au tableau des matériaux du projet.

Référence automatique :
L'axe des directions locales *x* et *z des éléments* peut être déterminé par des éléments de référence, voir partie *4.9.22. Références* ou peut être fixé automatiquement.

Le centre des éléments de la membrane est affiché à l'écran en bleu.

4.9.10.2. Plaque



Les éléments de plaque peuvent être utilisés pour modéliser des structures planes dont le comportement est dominé par les effets de flexion.

AxisVM utilise comme élément de plaque un élément fini « Hétérosis » à huit/neuf nœuds, qui est basé sur la théorie des plaques MINDLIN-REISSNER qui permet des effets de déformation par cisaillement transversal). Cet élément convient aussi bien pour la modélisation de plaques minces que de plaques épaisses.
Les éléments de plaque incorporent uniquement le comportement en flexion (plaque) (ils n'incluent aucun comportement dans le plan).

L'élément ne peut être chargé que perpendiculairement à son plan.

Les forces internes de la plaque sont : m_x, m_y, m_{xy} moments, et v_x, v_y les forces de cisaillement (normales au plan de l'élément). En outre, les principales forces internes : m_1, m_2l'angle α_m et la force de cisaillement qui en résulte q_R sont calculés.
La variation des forces internes à l'intérieur d'un élément peut être considérée comme linéaire.

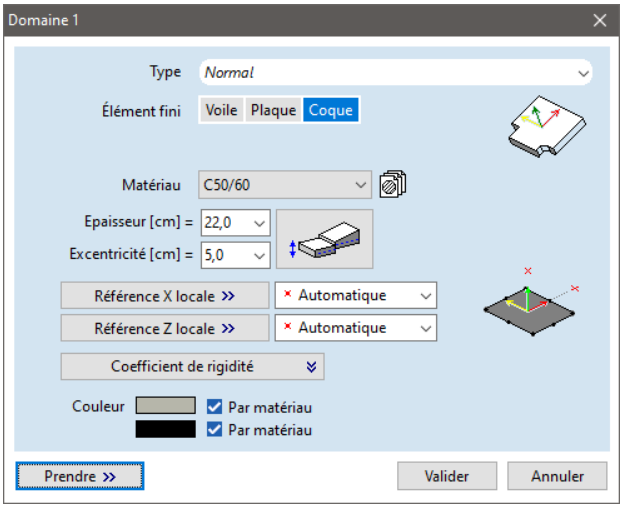
Les paramètres suivants doivent être spécifiés :

1. Matériau
2. Épaisseur
3. Référence (point / vecteur / axe / plan) pour l'axe x local
4. Référence (point/vecteur) pour l'axe z local

Permet de parcourir la bibliothèque de matériaux pour attribuer un matériau à l'élément. Le matériau sélectionné sera ajouté au tableau des matériaux du projet.
Référence automatique :
L'axe des directions locales *x* et *z des éléments peut être* déterminé par des éléments de référence, voir la partie *4.9.22. Références* ou peut être défini automatiquement.

Le centre des éléments de la plaque est affiché à l'écran en rouge.

4.9.10.3. Coque



Les éléments d'enveloppe peuvent être utilisés pour modéliser des structures dont le comportement dépend à la fois des effets dans le plan (membrane) et des effets de flexion (plaque).
L'élément de coque est constitué d'une membrane et d'un élément de plaque superposés. L'élément est plat, de sorte que les effets de membrane et de plaque sont indépendants (analyse du premier ordre).

L'élément peut être chargé dans son plan et perpendiculairement à son plan.
Les forces internes de la coque le sont : n_x, n_y, n_{xy} forces (composantes de la membrane), m_x, m_y, m_{xy} moments, et v_x, v_y les forces de cisaillement (composants des plaques). En outre, les principales forces et moments internes n_1, n_2, m_1, m_2les angles α_n, α_m et la force de cisaillement qui en résulte vSz sont calculés.
La variation des forces internes à l'intérieur d'un élément peut être considérée comme linéaire.

Les paramètres suivants doivent être spécifiés :

1. Matériau
2. Épaisseur
3. Référence (point / vecteur / axe / plan) pour l'axe x local
4. Référence (point/vecteur) pour l'axe z local

Permet de parcourir la bibliothèque de matériaux pour attribuer un matériau à l'élément. Le matériau sélectionné sera ajouté au tableau des matériaux du projet.

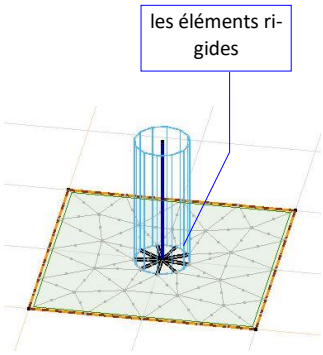
Référence automatique :
L'axe des directions locales *x* et *z des éléments peut être* déterminé par des éléments de référence, voir la partie *4.9.22. Références* ou peut être défini automatiquement.

Le centre des éléments de l'enveloppe est affiché à l'écran en vert.

Modifier La sélection d'éléments du même type *Modifier* sera activée. Les propriétés vérifiées peuvent être modifiées ou reprises d'un autre élément. La sélection d'éléments de différents types *Définir* sera activée.

Prendre>> Voir... *Reprendre* au point *4.9.9. Éléments linéaires*

Le DDL de rotation autour de l'axe normal à la surface est un DDL spécial. C'est le 3ème DDL des éléments membranaires et le 6ème DDL des coques. Il n'est pas couplé avec les translations planes. Seuls les DDL de perçage des nœuds sont reliés avec une faible rigidité. Dans le cas des coques, l'objectif principal est d'éviter les singularités au niveau des connexions 3D (connexion en forme de L ou de T de l'aile et de l'âme ou modélisation de coques courbes). Dans le cas des membranes, l'objectif principal est d'obtenir les mêmes résultats que pour les coques chargées dans le plan (Voir... *Références* [2]).
Comme le DDL de perçage n'a qu'une faible rigidité, un nœud directement chargé d'une membrane ou d'un élément d'enveloppe fonctionne comme s'il était déclenché autour de l'axe normal à la surface. En utilisant des éléments rigides, la résistance au moment de ce nœud peut être augmentée.



4.9.11. Appui nodal



Les éléments d'appui nodaux peuvent être utilisés pour modéliser les conditions d'appui ponctuel d'une structure. Les éléments d'appui nodaux soutiennent élastiquement les nœuds, tandis que les forces internes sont les réactions d'appui. Les nœuds médians des bords surfaciques ne peuvent pas être soutenus. Les références sont utilisées pour orienter arbitrairement les axes *x* et z de l'élément. L'axe x est dirigé d'un point de référence vers le nœud d'attache (le nœud auquel il est attaché).
Vous pouvez spécifier les propriétés de translation et/ou de rotation (torsion) autour des axes des éléments par des caractéristiques de ressort. Les valeurs de la rigidité initiale et de la rigidité vibratoire ainsi que le coefficient d'amortissement sont également affichées.
Les composants ayant des caractéristiques de ressort linéaire ont des champs modifiables pour entrer directement la rigidité et l'amortissement. La fermeture de la boîte de dialogue crée automatiquement une nouvelle caractéristique de ressort avec les nouvelles valeurs.
Des paramètres non linéaires peuvent être attribués à chaque direction. Pour modifier les caractéristiques, cliquez sur l'icône de la caractéristique du ressort (voir... *3.1.17. Bibliothèque des caractéristiques de ressorts*). Les valeurs du coefficient d'amortissement sont visibles si au moins l'une d'entre elles n'est pas nulle.



☞ **Les valeurs de rigidité par défaut sont 1E+10 [kN/m], [kNm/rad].**

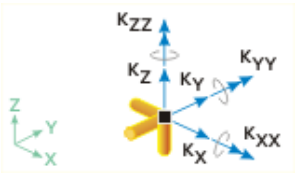
Les éléments d'appui sont affichés à l'écran en jaune (ressort de translation) ou en orange (ressort de rotation).

L'appui peut être défini dans les systèmes suivants:

- *Global*
- *Local*
- *Relatif à la poutre/ nervure*
- *Direction de Référence*
- *Relatif à la bordure*
- *Isolateur sismique*

Global

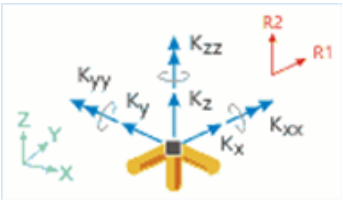
Définit les éléments d'appui nodaux parallèles aux axes de coordonnées globales. Vous devez sélectionner les nœuds qui sont supportés de manière identique et spécifier les éléments de translation correspondants (K_X, K_Y, K_Z) et de rotation (K_{XX}, K_{YY}, K_{ZZ}) des rigidités.



☞ **Vous ne pouvez définir qu'un seul appui global pour un nœud. Vous ne pouvez pas définir d'appui nodal pour un nœud central d'un élément surfacique.**

Local

Un minimum de deux références applicables est nécessaire pour définir l'élément d'appui nodal local. Ce type d'appui nodal est en fait une version tournante de l'appui global. La première référence est la direction de l'axe x local et la seconde référence, avec la première, détermine le plan de l'axe z local. En plus des références, la rigidité correspondante (caractéristique de ressort) doit être spécifiée.



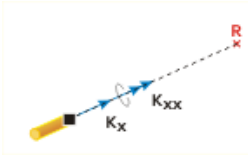
☞ **Vous ne pouvez définir qu'un seul appui local pour un nœud.**

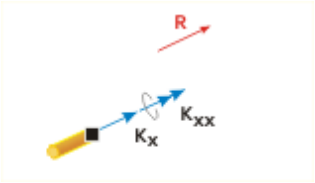
Référentiel

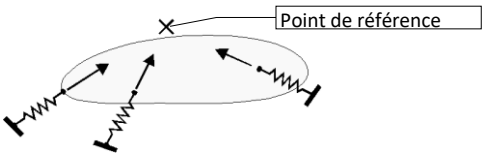
(*Direction de Référence)*

Définit les éléments d'appui nodaux dans la direction d'une référence (point ou vecteur). Vous devez sélectionner les nœuds qui sont supportés de manière identique et spécifier la rigidité correspondante (translation $K_x$et de rotation K_{xx}).

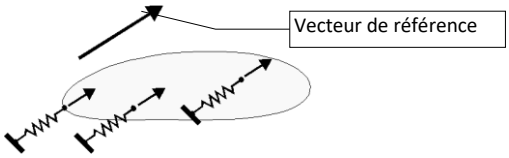
La direction du vecteur de référence est définie par le nœud de l'élément et son point de référence ou vecteur de référence de la manière suivante:







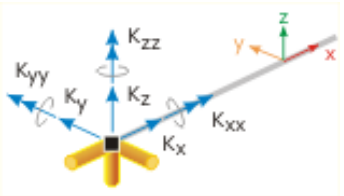
Éléments d'appui orientés vers un point de référence



Éléments d'appui parallèles à un vecteur de référence

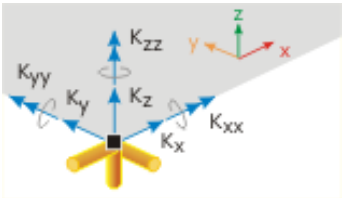
Relatif à la poutre/à la nervure

Définit les éléments d'appui nodaux sur les axes de coordonnées locales des éléments de la poutre / nervure. Vous devez sélectionner les éléments poutre/nervure et les nœuds qui sont supportés de manière identique, et spécifier les rigidités en translation (K_X, K_Y, K_Z) et en rotation (K_{XX}, K_{YY}, K_{ZZ}) correspondantes



Relatif à la bordure

Définit les éléments d'appui nodaux autour des axes de coordonnées locales des bords des éléments surfacique. Vous devez sélectionner les éléments surfaciques et les nœuds qui sont supportés de manière identique, et spécifier les rigidités en translation (K_X, K_Y, K_Z) et en rotation (K_{XX}, K_{YY}, K_{ZZ}) correspondantes



Si une surface est reliée au bord, les axes de coordonnées locales du bord le sont:

x =l' axe du bord

y = l'axe est orienté vers l'intérieur de l'élément surfacique dans son plan

z = parallèle à l'axe local *z de l'*élément surfacique

Si deux surfaces sont reliées au bord, la direction locale de l'*axe z* coupe en deux l'angle des surfaces. L'*axe des y est* déterminé selon la règle de la main droite.

Si plus de deux surfaces sont reliées au bord et que vous en sélectionnez une ou deux, le système local d'appui sera déterminé en fonction des surfaces sélectionnées.

Le déplacement positif allonge le ressort d'appui qui provoque la force de traction. Le déplacement négatif raccourcit le ressort qui provoque la force de compression.

Les caractéristiques non linéaires ne sont prises en compte que dans les analyses statiques ou dynamiques avec non-linéarité matérielle. Les analyses statiques linéaires, dynamiques linéaires et de flambement ne prennent en compte que la *rigidité initiale,* tandis que l'analyse de vibration ne prend en compte que la *rigidité de vibration.*

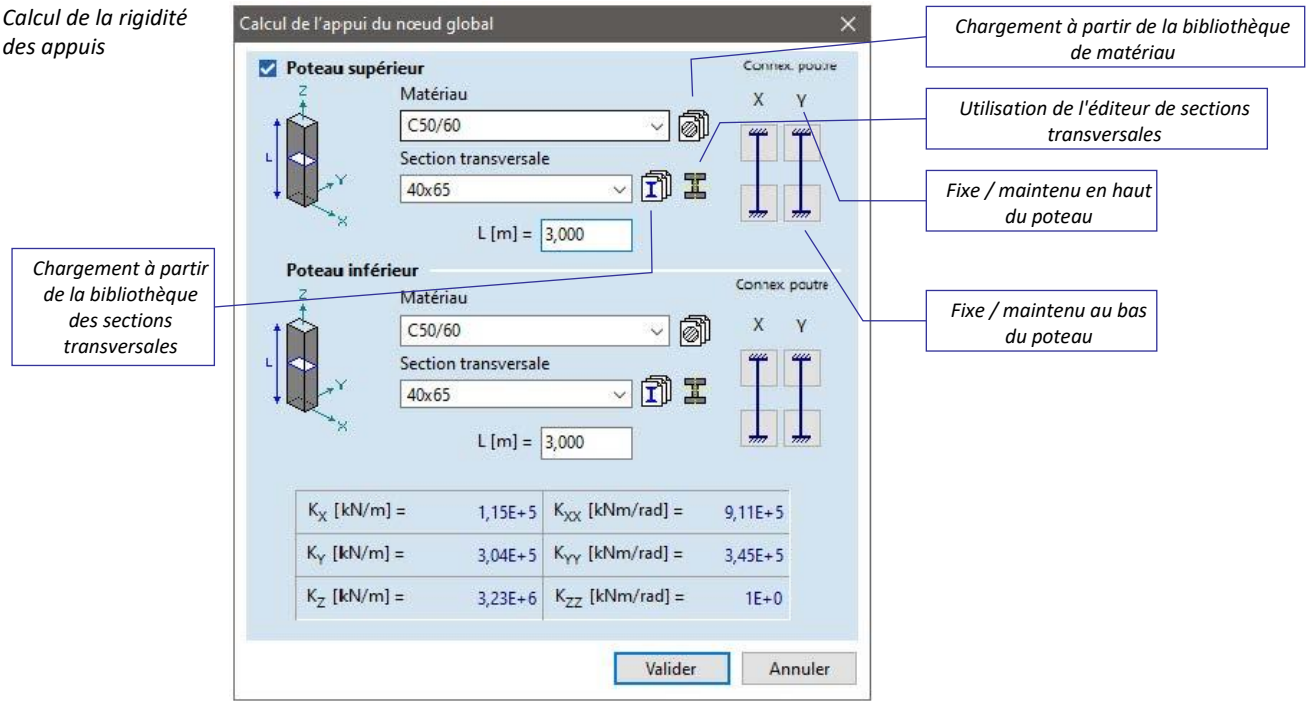
Les coefficients d'amortissement ne sont pris en compte que dans l'analyse dynamique.

Les Courtes lignes épaisses représentent les éléments d'appuis : appuis nodaux apparaissent en brun (K_X, K_Y, K_Z) et orange (K_{XX}, K_{YY}, K_{ZZ}) dans les 3 directions orthogonales.

Calcul

Voir... *4.9.11.1 Calcul de la rigidité du Support*

Calcul de la rigidité des appuis



Modifier

En sélectionnant des d'éléments de même type la modification sera activée. Les propriétés vérifiées peuvent être modifiées ou reprises d'un autre élément. En sélectionnant des éléments de types différents la définition sera activée.

Prendre>>

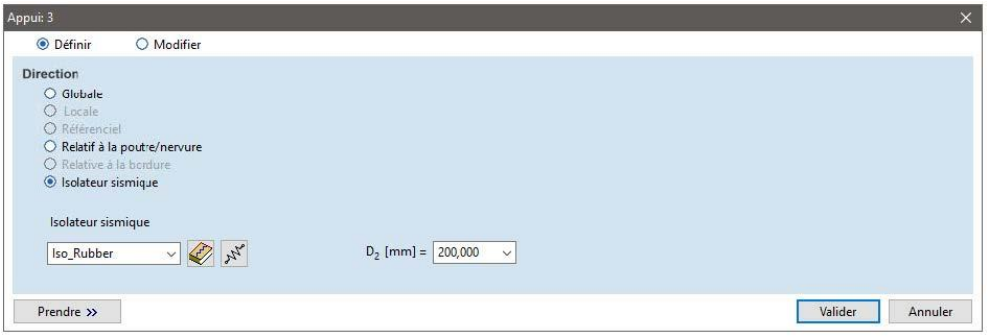
Voir... *Reprendre* au point *4.9.9 Éléments linéaires*

Importation des valeurs de rigidité du support à partir d'une feuille Excel

Les valeurs de la rigidité initiale peuvent être copiées depuis une feuille de calcul Excel vers le tableau des supports de nœuds via le presse-papiers. Dans ce cas, les supports à caractéristique linéaire sont créés avec les composantes de la rigidité initiale selon la feuille Excel.
Les colonnes du tableau copié correspondent respectivement aux valeurs K_x, K_y, K_z, K_{xx}, K_{yy}, K_{zz}.

	A	B	C	D	E	F
1	2,00E+00	3,42E+02	2,34E+03	2,00E+00	2,22E+02	2,22E+02
2	3,00E+00	3,75E+04	1,21E+05	1,00E+10	4,22E+06	1,00E+10
3	3,52E+04	7,89E+04	1,00E+10	8,85E+04	8,68E+03	1,00E+10
4	2,35E+04	5,35E+05	1,00E+10	7,81E+06	7,57E+06	1,00E+10
5	1,00E+10	8,24E+04	7,68E+05	8,78E+02	2,45E+06	1,00E+10
6	1,00E+10	1,23E+07	1,00E+10	5,00E+00	4,58E+04	1,00E+10
7	1,00E+10	5,45E+04	1,00E+10	5,50E+01	8,75E+06	1,00E+10
8	1,00E+10	1,23E+02	1,00E+10	5,00E+00	4,45E+04	1,00E+10

Isolateur sismique



D2 Déplacement maximal d'étude dans l'ELU

Les axes des isolateurs sismiques sont parallèles aux axes des coordonnées globales.
Voir... *3.1.17.2. Isolateurs sismiques*

Un nœud peut se voir attribuer soit un isolateur sismique, soit un appui nodal. La définition d'un isolateur sismique à un nœud supprime tous les appuis nodaux de ce nœud. La définition d'un appui nodal pour un nœud supprime tous les isolateurs sismiques de ce nœud.

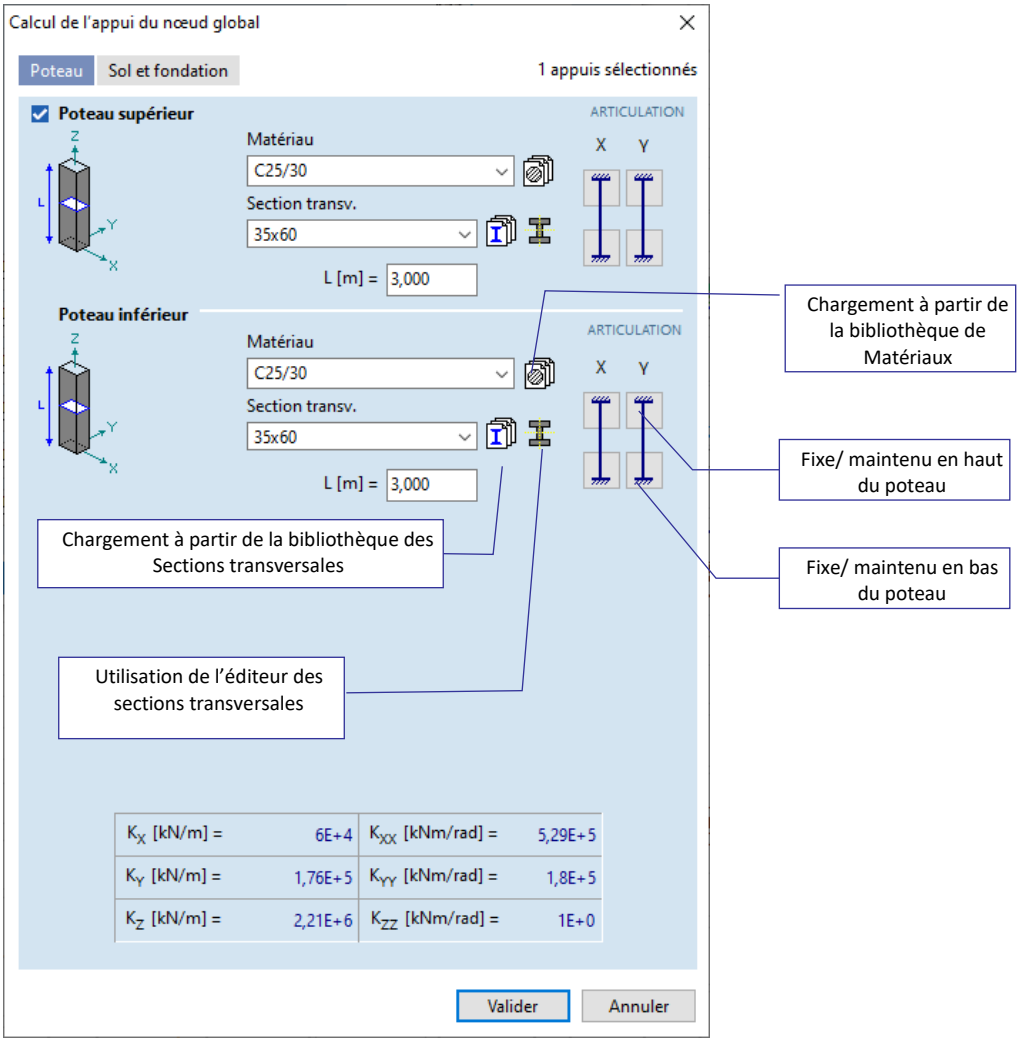
4.9.11.1. Calcul de la rigidité du Support

Utilisez le bouton *Calcul...* de la boîte de dialogue du support pour calculer ou estimer la rigidité du support.
Deux méthodes sont mises en œuvre : Poteau ou Sol et semelle. Dans le premier cas, le support nodal est modélisé par un poteau d'un certain matériau et d'une certaine section transversale, dans le second par une semelle sur un sol avec un profil de sol spécifié.

4.9.11.1.1. Calcul à partir des paramètres du poteau

Les rigidités de support sont déterminées en fonction des conditions d'extrémité, du matériau et de la géométrie du poteau. En utilisant les paramètres, les caractéristiques des ressorts sont générées par le programme.

En calculant la rigidité d'appui nodale, un poteau du dessous et un poteau du dessus du nœud peuvent être spécifiées séparément. Ces paramètres de poteau peuvent également être utilisés dans l'analyse du poinçonnement (notamment dans le cas de dalles intermédiaires). Les poteaux et les murs modélisant les appuis peuvent être affichés et le curseur peut les identifier.



4.9.11.1.2. Estimation de la rigidité du support à partir des paramètres du profil du sol et de la semelle

Lorsque vous sélectionnez Sol et semelle, le programme estime la rigidité du support dans la direction globale Z (K) en fonction de la taille de la semelle et du profil du sol.
Deux méthodes sont disponibles : A partir de la charge estimée, ou A partir du tassement à la capacité de charge maximale.

A partir de la charge estimée

Le programme détermine le tassement sous la semelle dû à une force de compression centrale F estimée sur le sol, puis calcule une rigidité d'appui estimée a . $K = F/ss$.
Le tassement est calculé de la même manière que celle décrite dans le document *6.5.14.1 Étude de la semelle isolée*. Le calcul part du principe que $\leq R_{v,d}$, c'est-à-dire que la charge ne dépasse pas la capacité portante ultime du sol sous la semelle, donc le dialogue ne permet pas d'entrer F au-dessus de la capacité ultime.

A partir du tassement à la capacité portante ultime

Si l'on connaît la capacité portante ultime du sol sous la semelle et le tassement associé s_{lim}, la rigidité du support peut être estimée comme suit $K = R_{v,d}/s_{lim}$.

Dans les deux cas, il est nécessaire de déterminer la capacité portante ultime. Dans la première méthode, il est nécessaire de trouver la limite supérieure de F, dans la deuxième méthode, il est nécessaire de calculer la rigidité.
La formule générale est la suivante
pour les conditions drainées: $R_{v,d} = (c' N_c b_c s_c i_c g_c d_c + q N_q b_q s_q i_q g_q d_q + \frac{1}{2}\gamma B' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma g_\gamma d_\gamma) \cdot A'$
pour les conditions non drainées: $R_{v,d} = \left((\pi + 2) c_u b_c s_c i_c \gamma_c d_c + q\right) \cdot A'$
Où *A'* est la surface effective de la semelle, *B'* est la taille effective de la fondation, γ est la valeur calculée de la densité massique du sol sous la semelle., *c'* est la valeur caractéristique de la cohésion du sol, *q* est la pression sous la semelle.

Les facteurs *N* sont les facteurs de capacité portante dépendant de l'angle de résistance au cisaillement du sol φ', les facteurs *b* sont les facteurs d'inclinaison de la base, les facteurs *s* sont les facteurs de forme, les facteurs *i* sont les facteurs d'inclinaison de la charge, les facteurs *g* sont les facteurs d'inclinaison du sol, les facteurs *d* sont les facteurs de profondeur.
Plusieurs méthodes sont disponibles, elles calculent les différents facteurs *N, b, s, i,* γ, *d* de manière différente *EN 1997-1 Annex D, Terzaghi (Bowles), Terzaghi (Sprangler-Handy), Meyerhof, Hansen, Vesic.*
D est la profondeur de la fondation, θ est l'angle d'inclinaison de la charge par rapport à la verticale, β est l'angle d'inclinaison du sol.

EN 1997-1 Annexe D

La méthode qui prend en compte la plupart des facteurs.

$N_q = e^{\pi \operatorname{tg} \varphi'} \operatorname{tg}^2\left(45° + \frac{\varphi'}{2}\right), \quad N_c = (N_q - 1) \operatorname{tg} \varphi', \quad N_\gamma = 2(N_q - 1) \operatorname{ctg} \varphi'$

$b_q = b_\gamma = (1 - \alpha \operatorname{tg} \varphi')^2, \quad b_c = b_q - \frac{1 - b_q}{N_c \operatorname{tg} \varphi'}$

$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} sin\, \varphi', \quad s_\gamma = 1 - 0{,}3\frac{B'}{L'}, \quad s_c = \frac{s_q N_q - 1}{N_q - 1}$

$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \operatorname{tg} \varphi'}, \quad i_q = \left(1 - \frac{H}{V + A' c' \operatorname{ctg} \varphi'}\right)^m, \quad i_\gamma = \left(1 - \frac{H}{V + A' c' \operatorname{ctg} \varphi'}\right)^{m+1},$

ahol $m_B = \frac{2 + B'/L'}{1 + B'/L'}, \quad m_L = \frac{2 + L'/B'}{1 + L'/B'}, \quad m = m_\theta = m_L \cos^2\theta + m_B \sin^2\theta$

Terzaghi (Bowles)

La méthode Terzaghi est utilisée principalement pour les fondations peu profondes à charge centrale, où la profondeur du plan de base de la semelle, D, ne dépasse pas la taille de la semelle. L'inclinaison de la semelle ou de la charge est ignorée, c'est pourquoi elle utilise uniquement les facteurs suivants :

$N_q = \frac{e^{2\left(0{,}75\pi - \frac{\varphi'}{2}\right) \operatorname{tg} \varphi'}}{2 \cos^2\left(45° + \frac{\varphi'}{2}\right)}, \quad N_c = (N_q - 1) \operatorname{ctg} \varphi', \quad N_\gamma = \frac{\operatorname{tg} \varphi'}{2}\left(\frac{K_{pg}}{\cos^2 \varphi'} - 1\right),$

Où K_{pg} est le coefficient de pression passive des terres, et

$$s_q = 1, \quad s_\gamma = 0{,}8, \quad s_c = 1{,}3$$

Terzaghi (Sprangler-Handy)

La méthode *Terzaghi (Sprangler-Handy)* utilise les facteurs N de l'annexe D de la norme EN 1997-1, et les facteurs s de la méthode *Terzaghi (Bowles),* mais

$$N_\gamma = 1.1(N_q - 1) \operatorname{tg}(1{,}3\varphi')$$

Meyerhof

Seulement les facteurs *N, s, i, d* sont pris en compte :

$N_q = e^{\pi \operatorname{tg} \varphi'} \operatorname{tg}^2\left(45° + \frac{\varphi'}{2}\right), \quad N_c = (N_q - 1) cot\, \varphi', \quad N_\gamma = (N_q - 1) tan(1{,}4\varphi')$

$s_c = 1 + 0{,}2K_p \frac{B'}{L'}, \quad s_\gamma = 1 + 0{,}1K_p \frac{B'}{L'}, \quad s_q = s_\gamma$

$i_c = 1 - \theta/90°, \quad i_\gamma = (1 - \theta / \varphi')^2, \quad i_q = i_c,$

$d_c = 1 - 0{,}2\sqrt{K_p}\frac{D}{B'}, \quad d_\gamma = 1 - 0{,}1\sqrt{K_p}\frac{D}{B'}, \quad d_q = d_\gamma,$

où $K_p = \operatorname{tg}^2(45° + \varphi')$

Hansen

Décrit mieux les sols cohésifs, en utilisant les facteurs N de *Meyerhof* mais

$N_\gamma = 1{,}5(N_q - 1) \operatorname{tg} \varphi'$

$b_c = 1 - \frac{\alpha}{147°} \qquad b_q = (1 - \alpha \operatorname{tg} \varphi')^2 \qquad b_\gamma = b_q$

$s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c}\frac{B'}{L'} \qquad s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \operatorname{tg} \varphi' \quad s_\gamma = 1 - 0{,}4\frac{B'}{L'},$

pour les sols avec beaucoup de cohésion : $s_c = 0{,}2B'/L'$

$i_c = 1 - \theta/90°, \quad i_\gamma = (1 - \theta / \varphi')^2, \quad i_q = i_c,$

$g_c = 1 - \frac{\beta}{147°}, \quad g_q = (1 - \operatorname{tg} \beta)^2 \qquad g_\gamma = g_q$

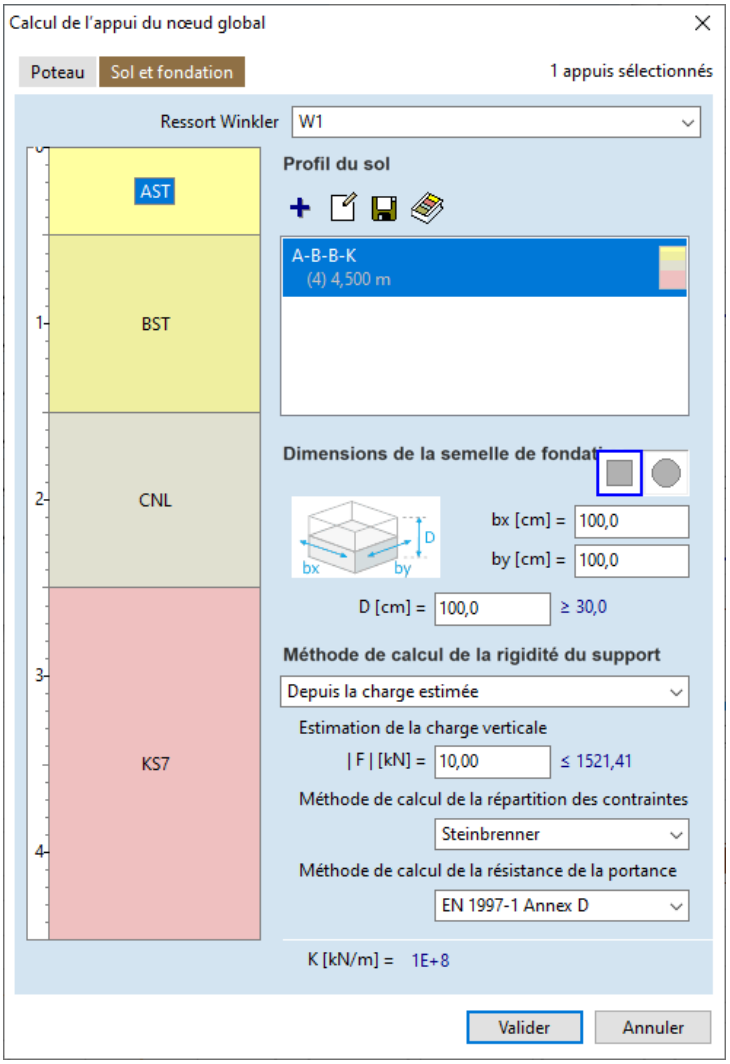
$d_c = 1 + 0{,}4k, \quad d_q = 1 + 2 \operatorname{tg} \varphi'(1 - \sin \varphi')^2 k,$

où $k = D/B'$, if $k > 1$ then $k = \operatorname{arc\,tg}(D / B')$

Vesic

Les facteurs de la méthode de Hansen sont utilisés, mais

$$N_\gamma = 2(N_q - 1)\, tg\, \varphi'$$



Ressort Winkler

La combinaison d'un profil de sol, des paramètres de la semelle et du calcul est appelée un ressort de Winkler représentant un appui estimé. Les ressorts de Winkler sont enregistrés dans le modèle sous un nom. Un même ressort de Winkler peut être affecté à plusieurs appuis. Les ressorts de Winkler existants peuvent être sélectionnés dans le menu déroulant plus haut.

Profil de sol

La barre d'outils située au-dessus de la liste des profils de sol disponibles offre les mêmes fonctions que celles décrites dans *6.5.14.1. Étude de la semelle isolée*

Créer un nouveau profil de sol
Un nouveau profil de sol peut être construit à l'aide de l'éditeur de profil de sol. *6.5.14.3 Editeur de profil de sol*

Editeur de profil de sol
Modifie le profil de sol actuel dans l'éditeur de profil de sol.

Sauvegarde du profil de sol sélectionné
Sauvegarde du profil de sol sélectionné dans la bibliothèque des profils de sol

Importer un ou plusieurs profils de sol de la bibliothèque
La bibliothèque de profils de sol (*6.5.14.4 Bibliothèque des profils de sol*) est disponible à partir de n'importe quel modèle.

Dimensions de la semelle

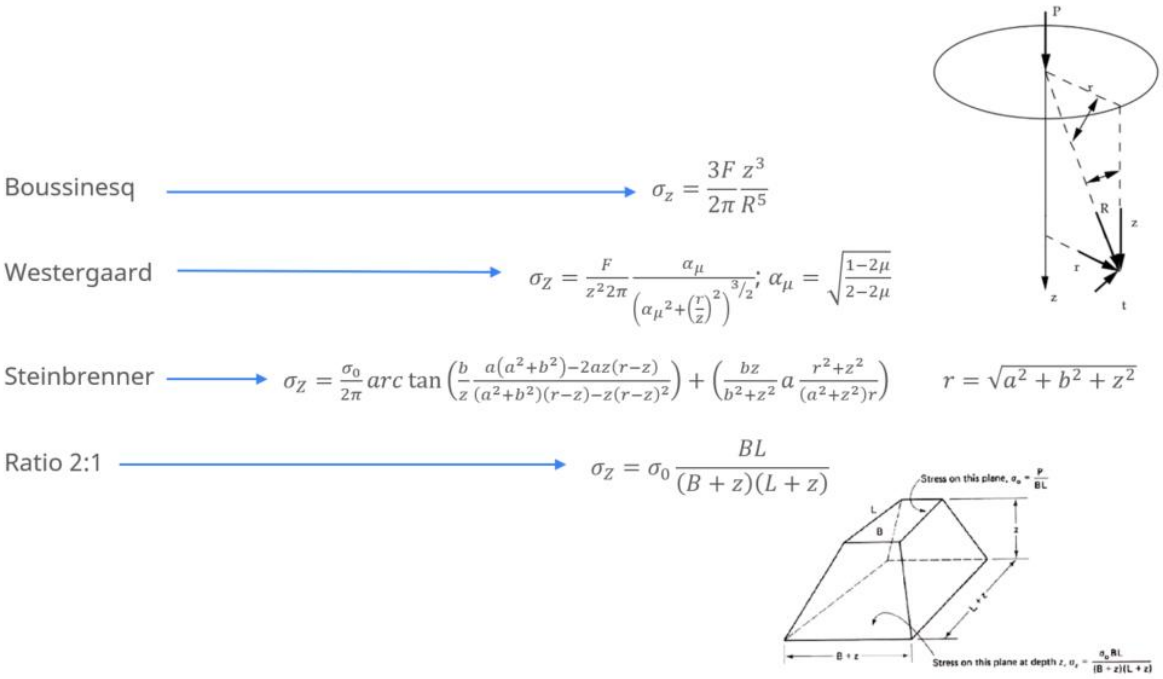
La forme de la semelle peut être rectangulaire ou circulaire.
Les semelles rectangulaires sont définies par les dimensions *bx* et *by* , les semelles circulaires par le diamètre d_p. Dans les deux cas, il faut définir la profondeur de la fondation par rapport au niveau zéro du profil du sol (D).

Calcul de la rigidité.

Le calcul peut être effectué à partir de la charge estimée ou du tassement à la capacité portante ultime.

À partir de la charge estimée

Dans ce cas, une valeur absolue estimée de la charge verticale sur le sol doit être saisie (F). Le programme calcule la capacité portante ultime du profil du sol, afin de vérifier la limite supérieure de cette charge.
Il faut sélectionner la méthode de calcul de la distribution des contraintes (Boussinesq, Westergaard, Steinbrenner, rapport 2:1) et la méthode de calcul de la capacité portante ultime (voir ci-dessus).



A partir du tassement au niveau de la Capacité portante

Le tassement associé à la limite de la capacité portante ultime et la méthode de calcul de la capacité portante ultime (voir ci-dessus) doivent être précisés.

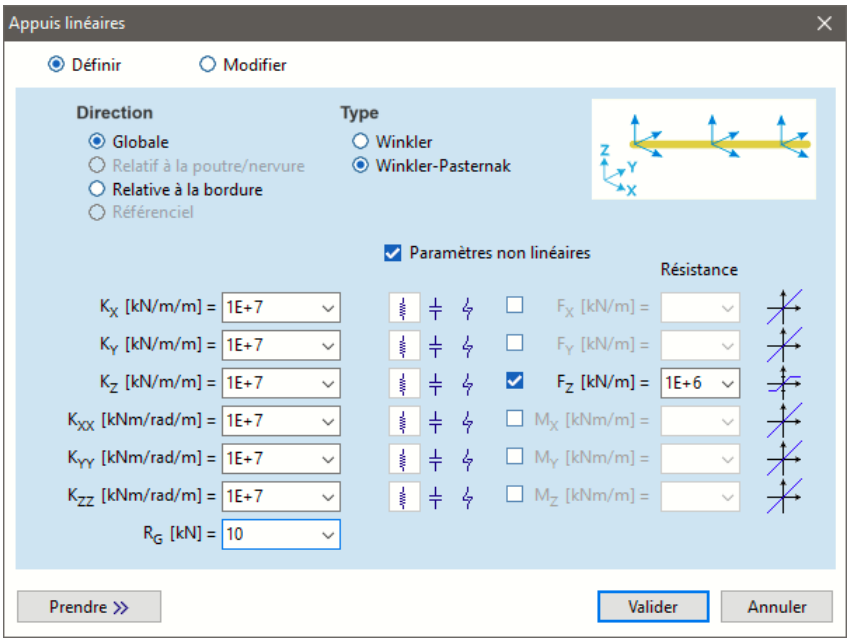
Une fois que tous les paramètres de la méthode choisie ont été spécifiés, la rigidité d'appui estimée K est affichée au bas de la boîte de dialogue. Après avoir fermé la boîte de dialogue, le programme attribue des caractéristiques d'appui à chaque composant d'appui en translation basé sur le ressort de Winkler, générant des noms composés du nom du ressort de Winkler et des caractères _x, _y, _z indiquant le composant. La rigidité du composant dans la direction globale Z est fixée à K, les deux autres composants à10^{-4} K. Aucune rigidité en rotation n'est calculée.

Mise à jour des paramètres de support sur la base des données réelles.

Si les résultats d'une analyse statique sont disponibles, la conception des semelles peut être effectuée (*6.5.14.1. Étude de la semelle isolée*). Les paramètres (dimensions de la semelle et profil du sol) utilisés dans la conception des semelles peuvent être utilisés pour mettre à jour les valeurs de rigidité des appuis par le biais du menu principal (*Editer / Mettre à jour les paramètres des appuis sur la base des semelles réelles*). Cette commande recalcule la rigidité des appuis nodaux et linéaires sélectionnés.
Cette opération invalidera bien sûr les résultats existants.

4.9.12. Appui linéaire





Les éléments de support de ligne peuvent être utilisés pour modéliser les conditions de support de ligne d'une structure. Les éléments de support de ligne sont des poutres, des nervures ou des bords de surface (domaine) qui supportent élastiquement. Les forces internes sont les réactions d'appui.
Sélectionnez les bords de domaine, les poutres ou les nervures, puis saisissez les valeurs de rigidité en translation et en rotation. Des paramètres non linéaires peuvent être attribués à chaque direction. Pour modifier les caractéristiques, cliquez sur l'un des trois boutons (bidirectionnel, compression uniquement, tension uniquement) et cochez la case résistance et spécifiez une valeur si nécessaire.

Le support peut être défini dans les systèmes suivants : Global, relatif à la poutre ou à la nervure, relatif au bord, référentiel (en prenant la direction à partir d'un point de référence ou d'un vecteur de référence). Deux types de supports sont disponibles : Winkler ou Winkler-Pasternak.

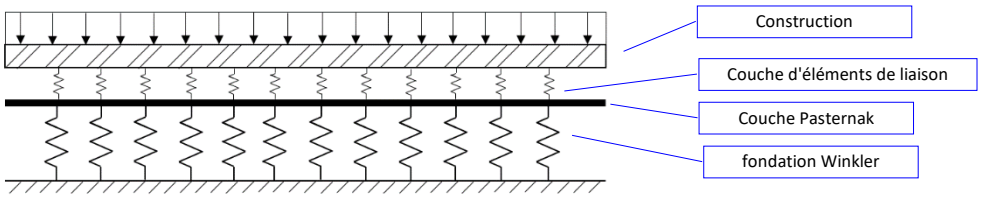
Appuis de type Winkler

Ces éléments de support représentent une fondation élastique de type Winkler. Sélectionnez les bords, les poutres ou les nervures du domaine puis saisissez les valeurs de rigidité en translation et en rotation.

☞ **Les valeurs de rigidité par défaut sont 1E+7 [kN/m/m], ou [kNm/rad/m].**

Appuis de type Winkler-Pasternak

Ces éléments de support représentent une fondation élastique de type Winkler contre la rotation et les déplacements dans les directions locales x et y, mais la modélisation du support contre les déplacements dans la direction locale z est plus sophistiquée. Une nouvelle couche de Pasternak modélisant la rigidité au cisaillement vertical du sol est placée au-dessus de la fondation de Winkler. Elle a une résistance au cisaillement RG constante. Au-dessus de la couche de Pasternak, une couche de liaison ligne à ligne est générée avec une rigidité de 1000 - K_z. En analyse linéaire, la seule fonction de cette couche est de transférer la réaction d'appui Rz entre le sol et la structure.



☞ **Les appuis de bord linéaire ou de domaine sont considérés comme des éléments structuraux, c'est-à-dire que lorsqu'un maillage est créé, ces éléments seront automatiquement divisés en interne mais les tableaux et les annotations font toujours référence aux éléments structuraux.**

Globale

Définit des éléments d'appui linéaire parallèles aux axes de coordonnées globales. Vous devez spécifier les rigidités en translation K_X, K_Y, K_Z et en rotation K_{XX}, K_{YY}, K_{ZZ} correspondantes

Relative à la poutre/ nervure

Définit les éléments d'appui linéaire pour les éléments de poutre/nervure dans leur système de coordonnées locales agissant comme une fondation élastique. Vous devez spécifier les rigidités en translation K_X, K_Y, K_Z et en rotation K_{XX}, K_{YY}, K_{ZZ} correspondantes.

☞ **Les poutres/nervures avec appuis linéaire doivent être divisés en au moins quatre éléments.**
En outre, la condition suivante doit être remplie :

$$L \le l_k = \frac{1}{2}\min\left(\sqrt[4]{\frac{4E_xI_z}{k_y}}, \sqrt[4]{\frac{4E_xI_y}{k_z}}\right)$$

Où *L,* est la longueur de la poutre/des nervures.

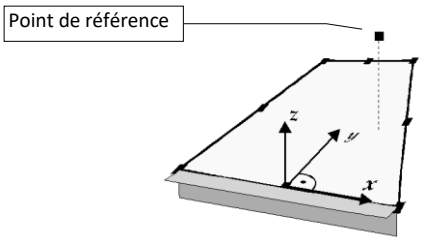
☞ **AxisVM vous avertit si la condition n'est pas remplie (par un ou plusieurs éléments). Dans ce cas, le module de Winkler des éléments définis est fixé à zéro, vous pouvez donc diviser les éléments et répéter le processus de définition / modification.**
Si vous spécifiez des appuis linéaires, les forces internes sont interpolées linéairement entre les extrémités de l'élément, donc la division des éléments est nécessaire.

Relative à la bordure

Définit les éléments d'appui des bords par rapport aux axes de coordonnées locales des bords. Vous devez spécifier la rigidité (translationelle K_x, K_y, K_z and rotationelle K_{xx}, K_{yy}, K_{zz}).
Si une surface est reliée au bord, les axes de coordonnées locales du bord le sont :

x =l' axe du bord
y = l'axe est orienté vers l'intérieur de l'élément surfacique dans son plan
z = parallèle à l'axe local *z de l'*élément surfacique

Si deux surfaces sont reliées au bord, la direction locale de l'*axe z* coupe en deux l'angle des surfaces. L'*axe des y est* déterminé selon la règle de la main droite.
Si plus de deux surfaces sont reliées au bord et que vous en sélectionnez une ou deux, le système local sera déterminé à partir des surfaces sélectionnées.



Référentiel

Définit l'appui de bord dans un système de coordonnées ***x***, ***y***, ***z*** de la main droite, où

x = direction du bord
y = perpendiculaire à la fois au bord et à la direction de référence *z*
z = direction définie par le point de référence ou le vecteur de référence

✍ Un déplacement positif étire le ressort de support en créant une force de traction. Un déplacement négatif comprime le ressort, créant une force de compression.

Paramètres e non linéaire

Les caractéristiques non linéaires de force-déplacement peuvent être spécifiées pour cet élément comme suit : compression seulement (très faible rigidité en tension), tension seulement (très faible rigidité en compression). Une valeur de résistance peut également être saisie.

☞ **Les paramètres non linéaires ne sont pris en compte que dans une analyse non linéaire. Dans tous les autres cas (statique linéaire, vibration I/II, flambement), les rigidités initiales sont prises en compte.**

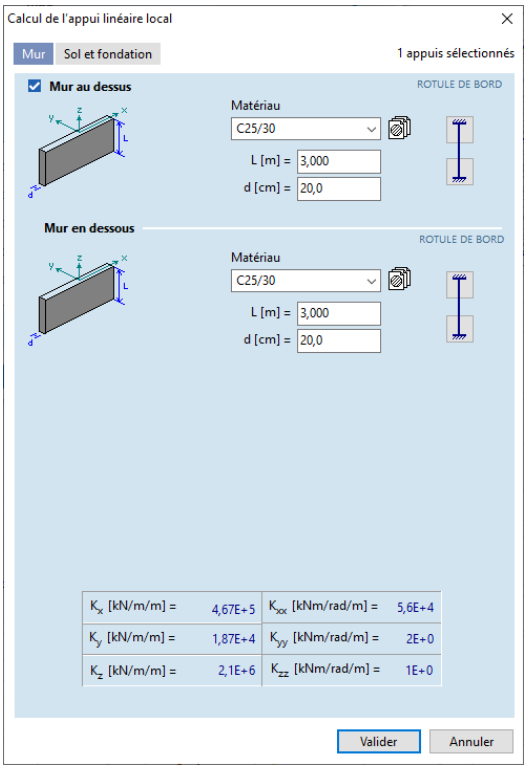
Le comportement non linéaire des appuis de Winkler-Pasternak dans la direction z locale découle de la caractéristique non linéaire de la couche de liaison ligne à ligne. Dans le cas d'appuis en tension seulement, la couche de liaison s'étire librement, laissant la construction s'élever du sol. La force de réaction Rz sera nulle mais, en raison de la couche Pasternak, la fondation Winkler restera chargée.

✍ Les appuis linéaires apparaissent en lignes brunes (K_x, K_y, K_z) et oranges (K_{xx}, K_{yy}, K_{zz}

4.9.12.1. Calcul de la rigidité du support

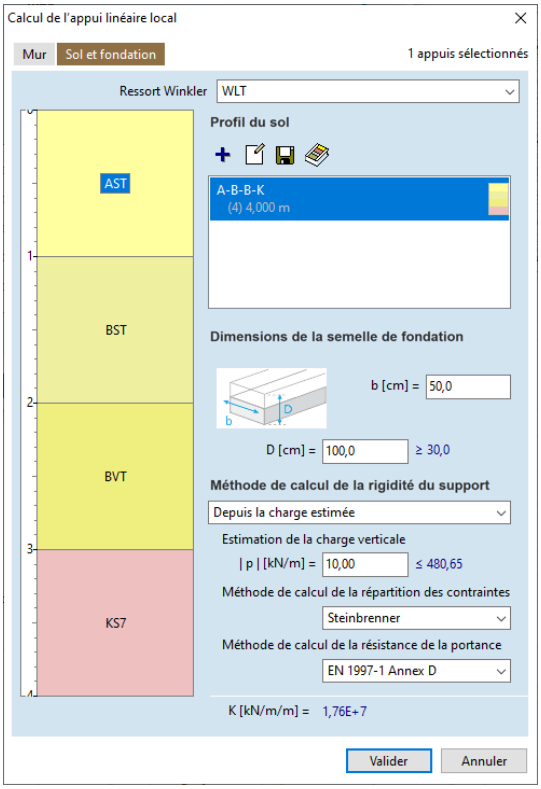
Utilisez le bouton *Calcul...* de la boîte de dialogue du support pour calculer ou estimer la rigidité du support.
Deux méthodes sont implémentées : *Mur ou Sol et semelle*. Dans le premier cas, l'appui nodal est modélisé par un mur d'un certain matériau et d'une certaine géométrie, dans le second cas par une semelle en bande sur un sol avec un profil de sol spécifié.

4.9.12.1.1. Calcul à partir des paramètres du mur



Les composantes de la rigidité du support sont déterminées en fonction des charnières de bord, du matériau et de la géométrie du mur. À l'aide de ces paramètres, les caractéristiques des ressorts sont générées par le programme.

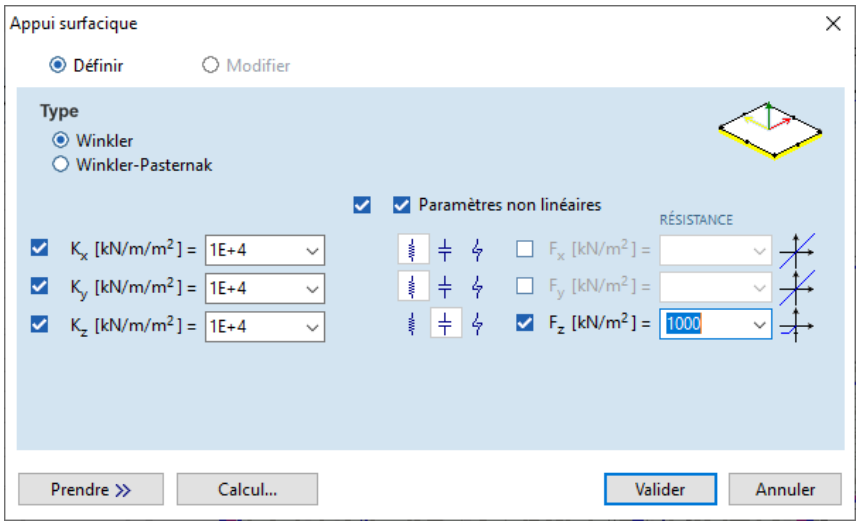
4.9.12.1.2. Estimation de la rigidité du support à partir des paramètres du profil de sol et de la semelle



La rigidité de l'appui est estimée de la même manière que pour les appuis nodaux *(4.9.11.1.2 Estimation de la rigidité du support à partir des paramètres du profil du sol et de la semelle)*Estimation de la rigidité de l'appui à partir du profil du sol et des paramètres de la semelle), mais bien sûr la charge p et la rigidité K résultante sont également des valeurs spécifiques.
Les paramètres (dimensions de la semelle et profil du sol) utilisés dans la conception de la semelle (*6.5.14.2 Étude de la semelle filante*) peuvent être utilisés pour mettre à jour les valeurs de rigidité du support par le biais du menu principal (Editer / Mettre à jour les paramètres du support sur la base des semelles réelles). Cette commande recalcule la rigidité des appuis nodaux et linéaires sélectionnés. Cette opération invalidera bien sûr les résultats existants.

4.9.13. Appui surfacique





Les supports de surface fournissent un support pour les éléments de surface et les domaines, avec une composante de rigidité interprétée dans le système de coordonnées local de la surface ou du domaine

Winkler

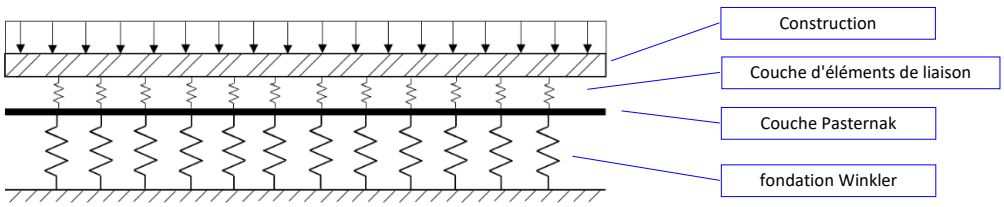
Définit un élément de support de surface (fondation élastique de type Winkler) aux éléments de surface. Vous devez spécifier une rigidité en translation dans le système de coordonnées local de l'élément de surface. Le support de surface se comporte de manière identique en tension et en compression et est considéré comme constant dans l'élément.

Vous devez spécifier la rigidité du support K_x,K_y,K_z (module de Winkler) autour des axes locaux x, y et z de l'élément de surface.

☞ **Les valeurs de rigidité par défaut sont 1E+4 [kN/m/m], ou [kNm/rad/m].**

Supports de type Winkler-Pasternak

Ces éléments de support représentent une fondation élastique de type Winkler contre la rotation et les déplacements dans les directions locales x et y, mais la modélisation du support contre les déplacements dans la direction locale z est plus sophistiquée. Une nouvelle couche de Pasternak modélisant la rigidité au cisaillement vertical du sol est placée au-dessus de la fondation de Winkler. Elle a une résistance au cisaillement RG constante. Au-dessus de la couche de Pasternak, une couche de liaison ligne à ligne est générée avec une rigidité de 1000 - K_z. Dans l'analyse linéaire, la seule fonction de cette couche est de transférer la réaction d'appui Rz entre le sol et la structure.



Un déplacement positif étire le ressort de support en créant une force de traction. Un déplacement négatif comprime le ressort, créant une force de compression.

Comportement non linéaire

Les caractéristiques non linéaires de force-déplacement peuvent être spécifiées pour cet élément comme suit: compression seulement (très faible rigidité en tension), tension seulement (très faible rigidité en compression), ou avec résistance (même rigidité pour la compression et la tension).

☞ **Les paramètres non linéaires ne sont pris en compte que dans une analyse non linéaire. Dans tous les autres cas (statique linéaire, vibration I/II, flambement), les rigidités initiales sont prises en compte.**

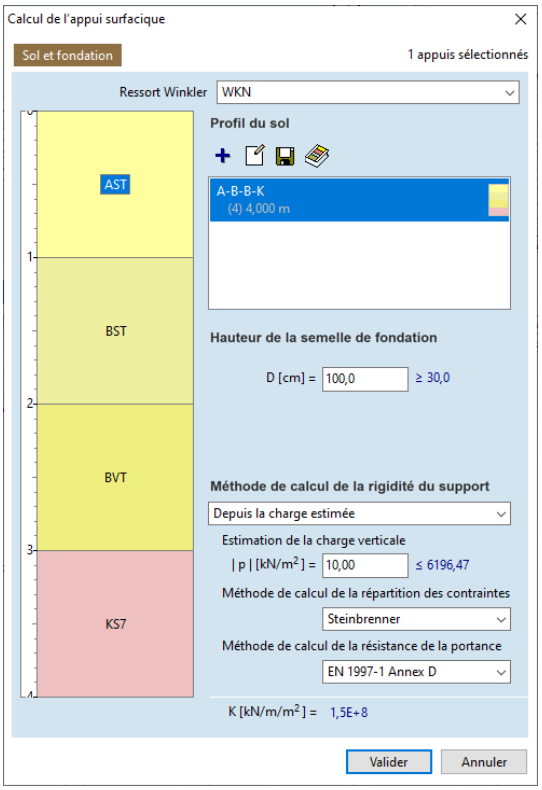
Le comportement non linéaire des appuis de Winkler-Pasternak dans la direction z locale découle de la caractéristique non linéaire de la couche de liaison ligne à ligne. Dans le cas d'appuis en tension seulement, la couche de liaison s'étire librement, laissant la construction s'élever du sol. La force de réaction Rz sera nulle mais, en raison de la couche Pasternak, la fondation Winkler restera chargée.

Les appuis surfaciques apparaissent comme un remplissage orange à hachures carrées.

4.9.13.1. Calcul de la rigidité du support

Utilisez le bouton *Calcul...* pour estimer la rigidité du support. Le support de surface est modélisé par un sol avec un profil de sol spécifié.

4.9.13.1.1. Estimation de la rigidité du support à partir des paramètres du profil de sol et de la semelle

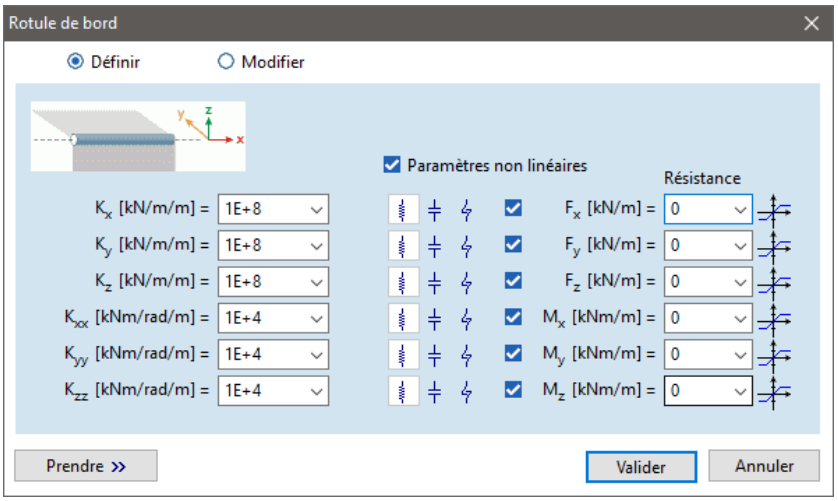


La rigidité de l'appui est estimée de la même manière que pour les appuis nodaux (*4.9.11.1.2 Estimation de la rigidité du support à partir des paramètres du profil du sol et de la semelle*) mais bien sûr la charge p et la rigidité K qui en résulte sont également des valeurs spécifiques par m^2.
La taille de la semelle n'a pas besoin d'être spécifiée, car la charge sera répartie sur toute la surface du support. Le seul paramètre est la profondeur de la base de la semelle D.

4.9.14. Rotule de bord



La rotule des bords peut être définie entre les bords des domaines ou entre une nervure et un bord de domaine. Sélectionnez une arête et un domaine. La rigidité de la rotule peut être définie dans le système local du bord du domaine sélectionné.



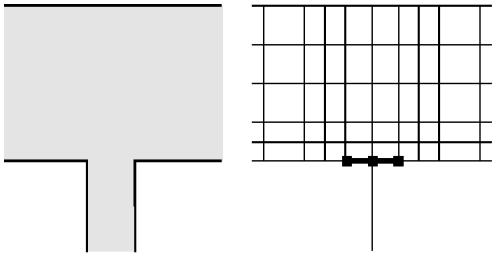
4.9.15. Éléments rigides



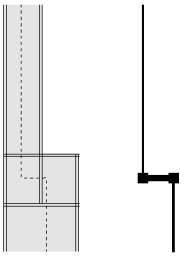
Les éléments rigides peuvent être utilisés pour modéliser des parties ayant un comportement rigide par rapport à d'autres parties de la structure.
Les éléments peuvent être définis en sélectionnant les lignes qui relient ses nœuds. Les lignes sélectionnées qui ont des nœuds communs définissent le même élément rigide. Il n'y a pas de limite au nombre de nœuds d'un élément.

☞ **Les degrés de liberté des nœuds d'un élément rigide ne peuvent pas être contraint (fixes).**

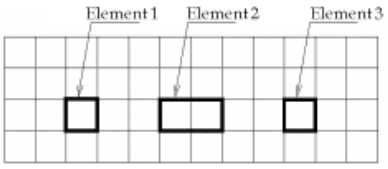
Modélisation de la liaison membrane-poutre:

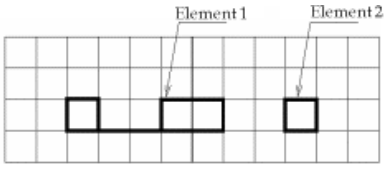


Modélisation de la connexion excentrique entre une poutre et les éléments d'une autre poutre:



Définir Permet de définir des éléments rigides. Vous devez sélectionner les lignes qui relient les nœuds attachés aux éléments rigides. Rappelez-vous que les lignes avec des nœuds communs définissent le même élément rigide.





Vous pouvez joindre ou séparer des éléments rigides en utilisant la commande modifier.
Si vous sélectionnez des lignes qui relient des nœuds de différents éléments rigides, les éléments seront reliés. Si vous désélectionnez des lignes d'éléments rigides interrompant leur continuité, les éléments respectifs seront divisés.

☞ **Un élément fini ne peut pas avoir toutes ses lignes assignées au même corps rigide.**
Si nous voulons calculer la masse du corps dans une analyse vibratoire, placez un nœud au centre de gravité, reliez-le au corps et faites de cette ligne une partie du corps rigide. Attribuez la masse du corps à ce nœud.

✍ Les éléments rigides sont affichés à l'écran avec d'épaisses lignes noires.

4.9.16. Diaphragme

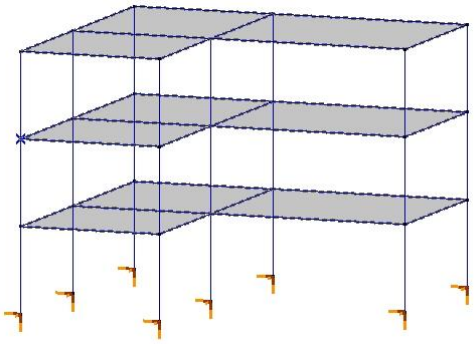


Utiliser des diaphragmes signifie simplifier le projet. Les diaphragmes sont des corps rigides spéciaux où la position relative des nœuds des éléments reste constante dans un plan global. Les diaphragmes réduisent considérablement la quantité de calculs. Cela peut être un avantage d'effectuer l'analyse des vibrations de grands projets. Les diaphragmes peuvent représenter des plaques totalement rigides dans leurs plans.

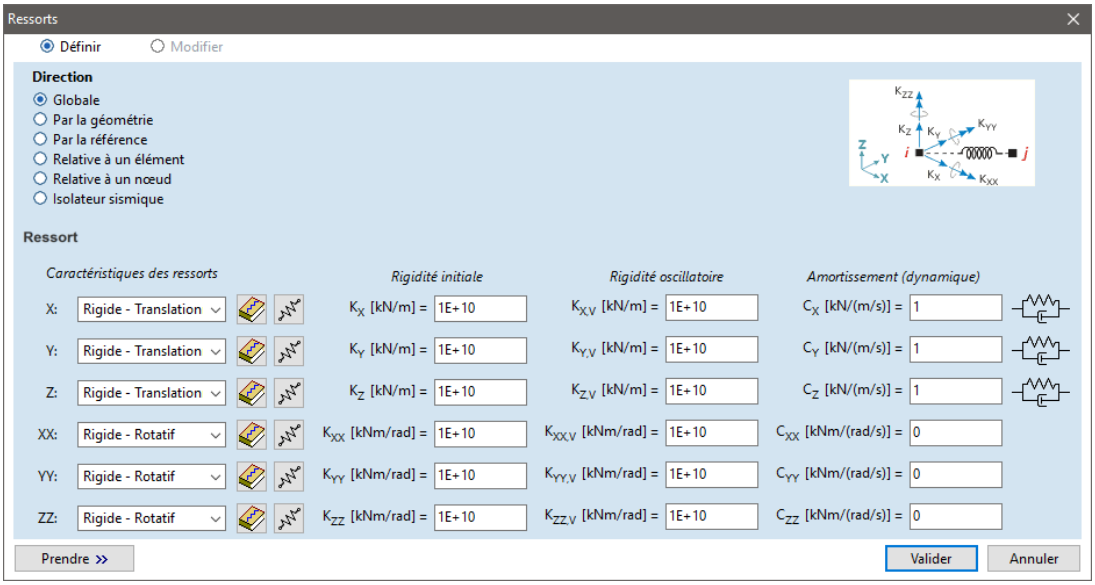
Définition Sélectionnez des lignes pour définir les diaphragmes. Chaque ensemble linéaire de connexion formera un diaphragme.

✍ Les diaphragmes sont représentés par des lignes violettes épaisses et pointillées.

Après la définition, vous devez définir le plan de travail du diaphragme. La position relative des nœuds des éléments reste constante dans ce plan. Pour les plaques rigides dans le plan X-Y, choisissez XY.
Après avoir changé, supprimé ou ajouté des diaphragmes, tous les diaphragmes seront à nouveau vérifiés pour trouver des groupes linéaires connectées. Les groupes non connectés formeront des diaphragmes séparés.



4.9.17. Ressort

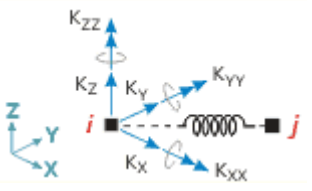


L'élément ressort relie les degrés de liberté de deux nœuds du projet. L'élément a son propre système de coordonnées. Vous pouvez spécifier les caractéristiques du ressort en translation (*X, Y, Z*) et/ou en rotation (*XX, YY, ZZ*). Les valeurs de la rigidité initiale et de la rigidité vibratoire ainsi que le coefficient d'amortissement sont également affichés. Des paramètres non linéaires peuvent être attribués à chaque direction. Pour modifier les caractéristiques, cliquez sur l'icône des caractéristiques du ressort (voir... *3.1.17. Bibliothèque des caractéristiques de ressorts*)

Les ressorts peuvent être définis dans les systèmes suivants : *Global, Par la géométrie, Par la référence, Relative à un élément, Relative à un nœud,* ou comme *isolateur sismique.*

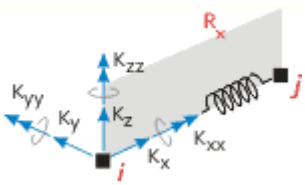
Globale

Définit les éléments de ressort parallèles aux axes de coordonnées globales. Vous devez sélectionner la ligne et spécifier la translation correspondante (K_X, K_Y, K_Z) et de rotation (K_{XX}, K_{YY}, K_{ZZ}) caractéristiques.



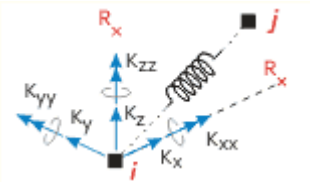
Par la géométrie

En spécifiant un élément de ressort basé sur la géométrie, la direction de la ligne sélectionnée sera l'axe x local de l'élément de ressort. Le plan contenant l'axe z local est déterminé par la référence z et l'axe x local.
Le projet exige qu'au moins une référence applicable soit spécifiée.



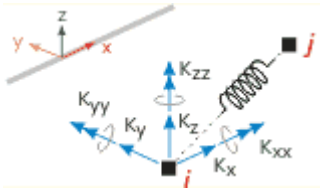
Par la référence

L'élément ressort défini par la référence peut être spécifié par deux références. La direction de l'axe x local est assignée par la référence x. La référence z, avec l'axe x local, détermine le plan dans lequel se trouve l'axe z local. Après avoir sélectionné la ligne, les références et les caractéristiques du ressort doivent être spécifiées. Le projet exige qu'aux moins deux références applicables soient spécifiées.



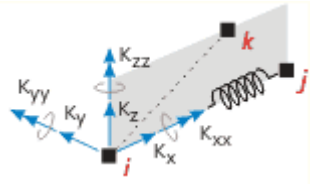
Relative à un élément

Le système de coordonnées locales de l'élément de ressort est aligné sur le système de coordonnées locales de la poutre ou de la nervure sélectionnée. Vous devez sélectionner la ligne requise et l'élément poutre/nervure et enfin les caractéristiques du ressort pour chaque direction. Le projet doit comprendre au moins un élément de poutre ou de nervure pour définir ce type d'élément de ressort.



Relative à un noeud

L'élément de ressort relatif au nœud est déterminé par deux nœuds applicables en plus de la ligne sélectionnée. Le nœud de référence x local avec le nœud de numéro inférieur de la ligne de ressort spécifie l'axe x local du ressort. Le nœud de référence z local avec la direction x locale détermine le plan qui contient l'axe z local. Le projet exige qu'aux moins deux nœuds applicables soient spécifiés.



Bibliothèque des caractéristiques des ressorts

La caractéristique du ressort peut être importée de la *bibliothèque des caractéristiques du ressort* (voir... *3.1.17. Bibliothèque des caractéristiques de ressorts*). Le programme filtre automatiquement les propriétés du ressort correspondant au degré de liberté.

Editeur de caractéristiques de ressort

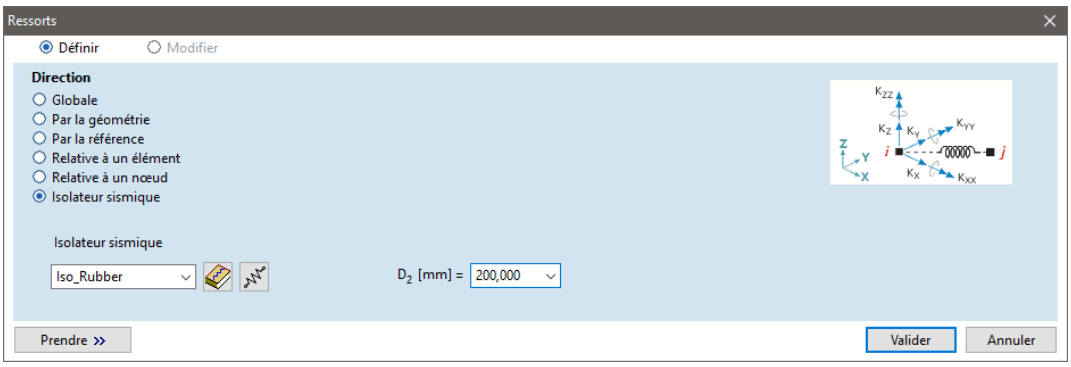
Les composants peuvent être édités avec l'icône de la caractéristique du ressort.
Voir... *3.1.17. Bibliothèque des caractéristiques de ressorts*.
Les composants ayant des caractéristiques de ressort linéaire ont des champs modifiables pour entrer directement la rigidité et l'amortissement. La fermeture de la boîte de dialogue crée automatiquement une nouvelle caractéristique de ressort avec les nouvelles valeurs. Les valeurs du coefficient d'amortissement sont visibles si au moins l'une d'entre elles n'est pas nulle.

☞ **Les caractéristiques non linéaires du ressort ne sont prises en compte que dans le cas d'analyses statiques et dynamiques non linéaires.**

Les rigidités initiales sont prises en compte dans les analyses statiques, dynamiques et de flambement Matériellement linéaires, même si les propriétés du ressort sont non linéaires. Dans le cas des vibrations I/II, les rigidités vibratoires sont prises en compte, les valeurs restant constantes pendant les analyses.
Les coefficients d'amortissement ne sont pris en compte que dans l'analyse dynamique.

Les éléments de ressort ne sont pas de véritables éléments structuraux. Ils relient les points nodaux des extrémités un par un. Il n'y a pas de couplage géométrique entre les différents DDL (translation-rotation, force-moment).

Isolateur sismique



D2 Déplacement maximal en étude dans l'ELU

Les axes des isolateurs sismiques sont parallèles aux axes des coordonnées globales.
Voir... *3.1.17.2. Isolateurs sismiques*

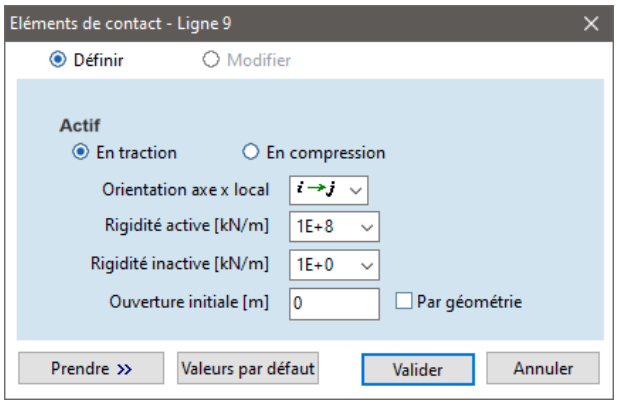
4.9.18. Élément de contact



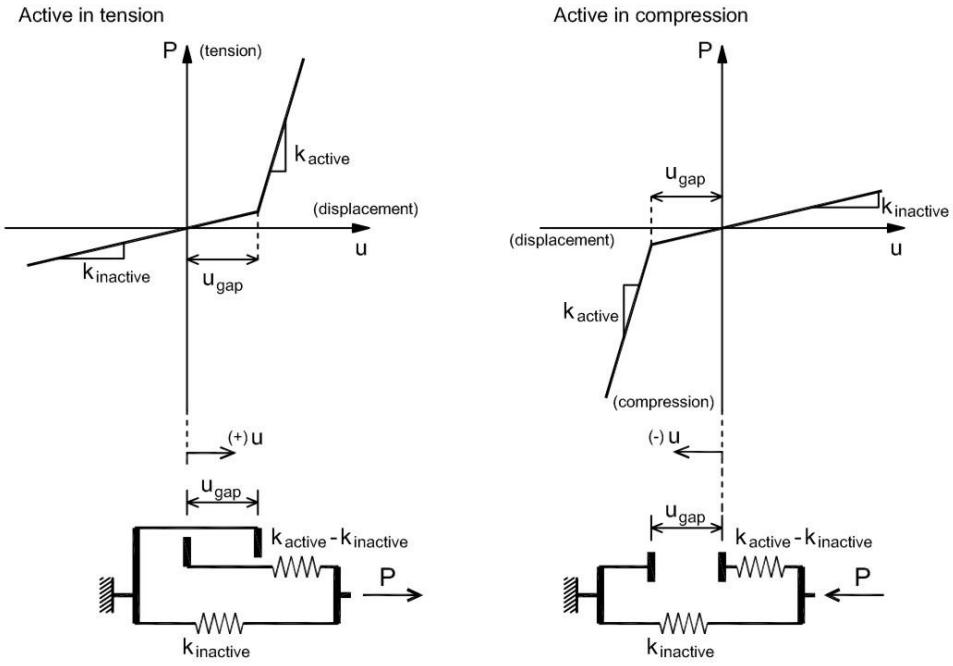
L'élément De contact est utilisé pour modéliser le contact point à point.

L'élément a deux états :

- un ***actif***, lorsque sa rigidité est *supérieure de plusieurs ordres de grandeur à* celle de l'état inactif (simule l'obtention d'un contact)
- un ***inactif***, lorsqu'il a une faible valeur de rigidité (simule qu'aucun contact n'est réalisé).



Comme l'état inactif a une rigidité faible mais non nulle, un élément de contact est un modèle approximatif de ce type de connexion. Mais en utilisant cet élément, la matrice de rigidité reste une matrice de bandes (Matrice dont les entrées non nulles sont confinées en une bande diagonale) et un nombre quelconque de contact peut être utilisé dans un projet.



L'élément de contact est un élément non linéaire qui peut poser des difficultés à la solution du problème non linéaire, en raison des grands changements de rigidité de l'élément lorsqu'il change de statut (actif/inactif).
En cas de problème de convergence numérique, il peut être souhaitable de réduire le rapport entre la rigidité active et la rigidité inactive, atténuant ainsi la non-linéarité induite par l'élément de contact. Ceci doit être vérifié par l'utilisateur, que cela soit possible ou non.

Un élément de contact est défini en sélectionnant deux nœuds.

La définition de l'*orientation locale x est la* même que pour les éléments de la poutre.

Actif: L'état actif qui peut être la traction (une connexion par boulon de tension) ou la compression (contact de deux plaques)

Orientation (d'un de ses nœuds à l'autre)

Raideur active : Par défaut, elle est de 1E+8 kN/m.

Raideur inactive : Par défaut, elle est de 1E-2 kN/m.

Ouverture initiale Par défaut elle est de 0. L'ouverture initiale peut également être définie en fonction de la géométrie des éléments (*Vérifié par géométrie*). L'ouverture initiale est une valeur positive ou nulle. Si l'ouverture initiale ne se ferme pas, l'élément de contact est considéré comme inactif.

☞ **Si l'élément de contact est utilisé dans une analyse différente d'une analyse statique non linéaire, l'élément sera pris en compte comme un ressort avec une rigidité correspondant à son ouverture initiale. Si l'ouverture initiale est nulle, la rigidité active sera prise en compte.**

4.9.19. Isolateurs sismiques



Charges sismiques Module SE1

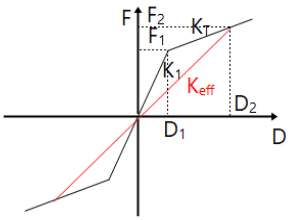
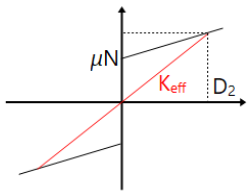
Lors des différentes analyses, les isolateurs sismiques sont pris en compte de la manière suivante.
Le système d'isolateurs sismiques est considéré comme un modèle à degré de liberté unique, avec les paramètres suivants :

T_{is}	Période naturelle du système
ξ_{esi}	Rapport d'amortissement du système
K_{esi}	Rigidité horizontale efficace
K_v	Rigidité verticale efficace
dc_x, dc_y	Coordonnées du centre du système d'isolateurs sur le plan X-Y

La rigidité horizontale efficace et le rapport d'amortissement

Afin de déterminer la rigidité horizontale efficace des isolateurs non linéaires, il faut connaître les déplacements limites ultimes des isolateurs (D2, voir... *4.9.11. Appui nodal*, *4.9.17 Ressort*. Comme les déplacements des isolateurs dépendent de la charge sismique, la solution ne peut être fournie que de manière itérative. À la fin de la procédure, la différence relative entre le déplacement prévu et le déplacement maximal réel doit être inférieure à 5 %.

Les rigidités et les rapports d'amortissement efficaces peuvent être déterminés de la manière suivante pour différents types d'isolateurs :

Caoutchouc	*Curseur à surface courbe*	*Autres*
		L'utilisateur définit la rigidité efficace (E_{xy}) et le rapport (ξ) (voir... *3.1.17.2. Isolateurs sismiques*).
Paramètres : $D_1 = F_1/K_1$ $F_2 = F_1 + K_T(D_2 - D_1)$ $K_{eff} = F_2/D_2$ $\xi_{eff} = \frac{2}{\pi}\left(\frac{F_1}{F_2} - \frac{D_1}{D_2}\right)$	$K_{eff} = N\left(\frac{1}{R} + \frac{\mu}{D_2}\right)$ $\xi_{eff} = \frac{2}{\pi}\left(\frac{1}{1 + \frac{D_2}{\mu R}}\right)$ où N est l'effort normal sur l'élément isolant	

La rigidité verticale et horizontale du système d'isolateurs

$$K_v = \sum E_{z,i}\,, K_{esi} = \sum K_{eff,i}$$

La période naturelle du système d'isolateurs

$T_{est} = \frac{2\pi}{\sqrt{K_{esi}/M_{is}}}$ Où M_{is} est la masse de la structure isolée

Rapport d'amortissement du système

$$\xi_{esi} = \frac{\sum \xi_{eff,i} K_{eff,i}}{K_{esi}}$$

Le centre de rigidité du système d'isolateur

$dc_x = \frac{\sum x_i K_{eff,i}}{K_{esi}}$, $dc_y = \frac{\sum y_i K_{eff,i}}{K_{esi}}$

Lors de l'analyse du spectre de réponse, les isolateurs sont considérés de la manière suivante (disponible uniquement si NTC, le code italien est sélectionné)

Spectre horizontal Spectre élastique, où

$$\xi = \begin{cases} 5\%, & T < 0.8T_{is} \\ \xi_{esi}, & T \geq 0.8T_{is} \end{cases}$$

- Pour les états limites SLO, SLD

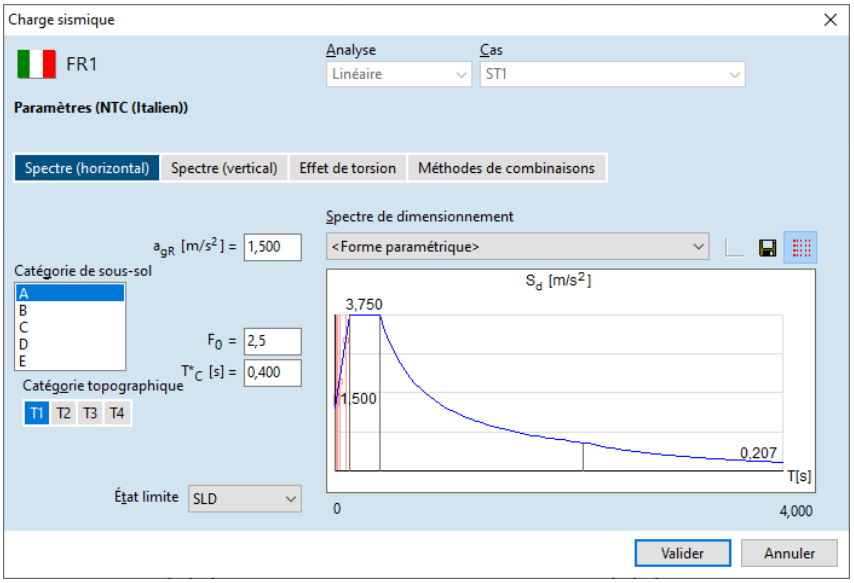
$$\eta = \max\left(0.55, \sqrt{\frac{10}{5+\xi}}\right)$$

- Pour les états limites SLV, SLC

$\eta = \max \max\left(\frac{2}{3}, \sqrt{\frac{10}{5+\xi}}\right)$Avec cette modification, le facteur de comportement équivalent ne peut être supérieur à 1,5.

Spectre vertical Spectre élastique, où $\xi = 5\%$.

Spectre horizontal si des isolateurs sismiques sont appliqués:



Analyse statique linéaire

Dans ce cas, le programme prend en compte la rigidité efficace de l'isolateur ($K_{eff,i}$), qui est introduit ci-dessus.

Analyse statique non linéaire

Pour l'analyse statique non linéaire (Poussée), les isolateurs sont considérés avec une loi constitutive bilinéaire.

Vibration

Pour les analyses de premier et de second ordre, la rigidité efficace de l'isolateur ($K_{eff,i}$) est prise en compte, ce qui est introduit ci-dessus. Si le projet contient des éléments isolants, une analyse statique linéaire est d'abord effectuée pour déterminer la masse du système isolé.

Flambement

Dans l'analyse de flambement, les éléments sont pris en compte avec la rigidité initiale (K_1). Dans le cas d'une glissière à surface courbe, la rigidité horizontale est fixée à 1e10 kN/m.

Dynamique

Sans suivre le comportement non linéaire des matériaux et des éléments finis

La rigidité efficace ($K_{eff,i}$) des isolateurs sont prises en compte, comme présentée ci-dessus. De plus, le programme prend en compte l'énergie dissipée due au comportement élastique-plastique constitutif de l'élément i. isolateur :

$$c_i = \frac{W_{d,i}}{\pi\omega {D_{2,i}}^2}$$

où $\omega_{est} = \frac{2\pi}{T_{est}}$, $W_{d,i}$ est l'énergie dissipée au cours d'un cycle, qui est $W_d = 4(F_1D_2 - F_2D_1)$ pour l'élément en caoutchouc et $W_d = 4\mu ND_2$ pour l'élément coulissant.

Avec le comportement non linéaire suivant des matériaux et des éléments finis

Les isolateurs de paliers en caoutchouc et les glissières à surface courbe sont pris en compte par une loi constitutive bilinéaire.

Remarque: si une glissière à surface courbe est définie dans le projet, l'analyse commence par une analyse statique linéaire afin de déterminer la force normale sur l'élément de la glissière pour le cas de charge sélectionné. Le programme néglige l'oscillation de la force de pression sur l'élément isolant.
Le comportement non linéaire des isolateurs est représenté par des ressorts séparés dans les directions *x* et *y*. Aucune interaction n'est prise en compte.

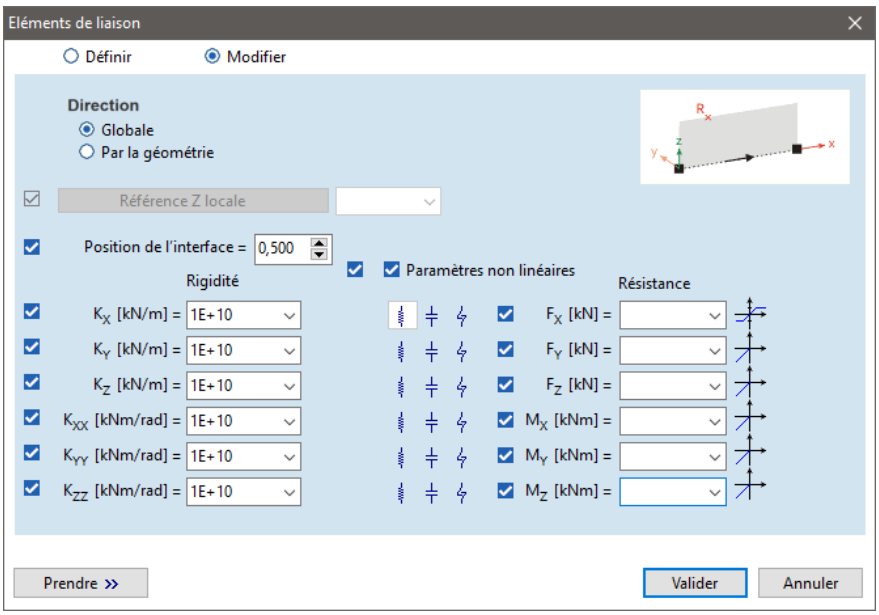
4.9.20. Liaison

Éléments de liaison

Les éléments de liaison relient deux nœuds (N-N) ou deux lignes (L-L) et ont six composantes de rigidité (définies dans leur système de coordonnées) qui sont réduit à une interface (située entre les nœuds/lignes connectés). Sa position peut être saisie par rapport à un nœud/ligne qui est considéré comme référence.
Les éléments de liaison peuvent avoir un paramètre non linéaire appelé résistance limite qui limite la force qu'ils sont capables de transférer.

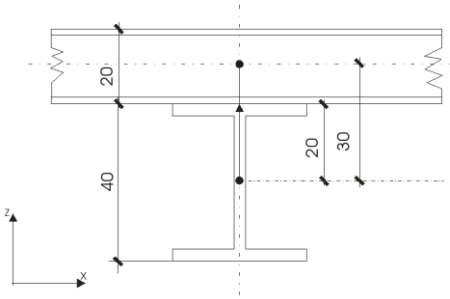
Liaison nœud / nœud (N-N)

Relie deux nœuds. Les composantes de la rigidité sont définies dans le système de coordonnées global. La position de l'interface peut varier de 0 à 1 par rapport au nœud maître (sélectionné par l'utilisateur). Si la position de l'interface est = 0, l'interface se trouve au nœud maître. Si elle est = 1, l'interface se trouve au nœud opposé. Pour toute valeur supérieure à 0 ou inférieure à 1, la référence se trouve entre les nœuds.



Les applications typiques sont : la connexion Poutre principale - panne ; certains types de connexions de grillage ; les connexions de contreventement ; etc.

***Exemple* :** Une liaison connexion Poutre principale - panne (voir... SteelFrame.axs dans le dossier des exemples)
Supposons que l'axe vertical est Z étant parallèle à l'axe z local. La poutre principale est un IPE-400 dans le plan X-Z, la panne est un I-200. Vous voudriez transférer les forces de la panne à la poutre principale mais pas les moments.



Ces éléments sont représentés par leur ligne de gravité. Le lien doit être placé entre ces deux axes à leur point d'intersection (si vu de dessus). Par conséquent, ce lien doit être assigné à une ligne verticale ayant une longueur égale à la distance des axes, soit 30 cm (40/2 + 20/2). Sélectionnez le nœud sur la poutre principale qui sera le nœud maître du lien. L'interface doit toujours être placée au point de contact réel. Dans ce cas, l'interface est située à 20 cm (40/2) du nœud maître (c'est-à-dire l'axe de la poutre principale). Ainsi, la position de l'interface est de 20/30 = 0,666. Vous supposez que la connexion est fixée contre les déplacements mais peut tourner. Par conséquent, vous entrez 1E10 pour les rigidités en translation et 0 pour les rigidités en rotation. Si les pannes ne sont supportées que par ces liaisons, vous devez entrer KYY=0,001 ou une petite valeur similaire pour éliminer la rotation autour de l'axe principal de la poutre.

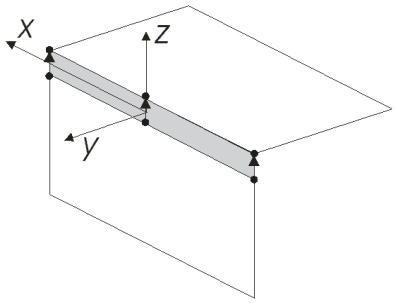
Paramètres non linéaires

Des paramètres non linéaires peuvent être attribués à chaque composante de rigidité non nulle. Pour modifier les caractéristiques, cliquez sur l'un des trois boutons (bidirectionnel, compression uniquement, tension uniquement) et cochez la case de résistance et indiquez une valeur si nécessaire.



Liaison ligne/ ligne

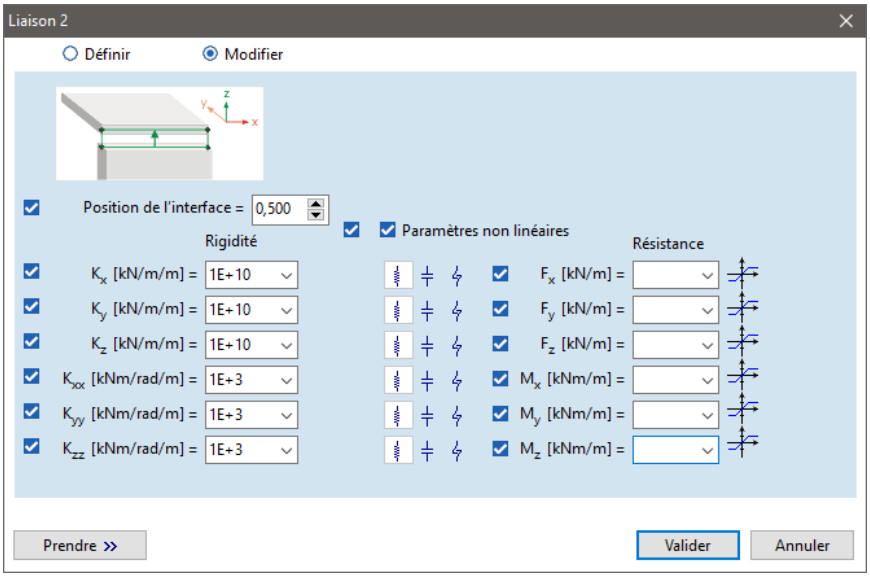
Connecte deux lignes avec trois nœuds chacune qui peuvent être des éléments de nervure et/ou des bords d'éléments surfacique. Une liaison ligne à ligne comporte 6 nœuds. Les composantes de rigidité sont définis dans le système de coordonnées local du lien qui se trouve dans le plan de l'élément de liaison avec l'axe local x parallèle à la ligne maîtresse, et l'axe local z orienté vers l'autre ligne dans le plan du lien et est orthogonal à l'axe local x.



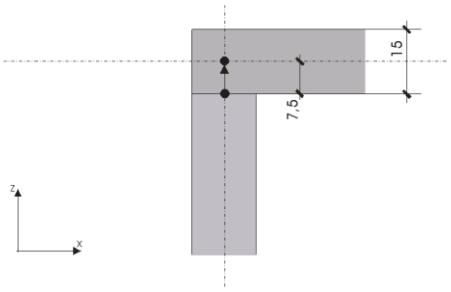
La position de l'interface peut varier de 0 à 1 par rapport à la ligne maîtresse (choisie par l'utilisateur).

Si l'emplacement de l'interface est 0, l'interface se trouve à la ligne maîtresse (au point de départ de la flèche).
S'il est égal à 1, l'interface se trouve sur la ligne opposée (à l'extrémité de la flèche). Pour toute valeur supérieure à 0 ou inférieure à 1, l'interface se trouve entre les lignes.

Les applications typiques sont les suivantes: assemblages articulés sol-mur ; poutres en plusieurs couches semi-composites / entièrement composites ; assemblages semi-rigides avec coques et nervures ; etc.



Exemple: Une connexion à rotule sol-mur.

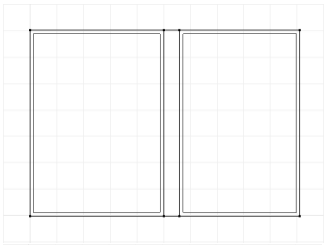


Supposons que l'axe vertical soit Z, que la paroi soit dans le plan Y-Z, que le sol soit parallèle au plan X-Y et que les parois soient représentées par des éléments de coque. L'épaisseur du plancher est de 15 cm.
Vous aimeriez transférer les forces du sol au mur mais pas les moments.
Les éléments sont représentés par leur plan médian. Le mur doit aller jusqu'au plan inférieur du sol. Des liens doivent être placés entre le bord supérieur du mur et le bord du sol.
Dans ce cas, les éléments de liaison doivent se trouver dans le plan du mur. La distance entre les bords est de 7,5 cm (15/2). Sélectionnez les nœuds de bord de mur pour qu'ils soient les nœuds maîtres. L'interface doit se trouver au point de contact réel qui se trouve dans le plan inférieur du sol et qui est à 0 cm du nœud maître. Saisissez donc 0 pour la position de l'interface. Vous supposez que la connexion est fixe contre les déplacements mais qu'elle peut tourner. Par conséquent, vous entrez 1E10 pour les rigidités en translation et 0 pour les rigidités en rotation.

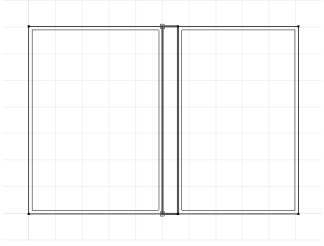
Paramètres non linéaires

Une résistance limite peut être spécifiée pour chaque composant correspondant avec une rigidité non nulle.

Lorsqu'on l'utilise en conjonction avec des domaines, les étapes suivantes peuvent être suivies pour définir des éléments de liaison ligne à ligne:



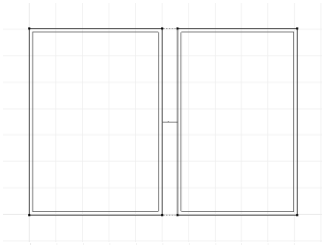
1. Définissez les domaines (voir... *4.9.6. Domaine*) et connectez les nœuds opposés correspondants des domaines avec des lignes (le nombre de nœuds sur les bords des domaines doit être égal).



2. Sélectionnez le quadrilatère entre les domaines. Cliquez sur **VALIDER** dans la barre d'outils de sélection.

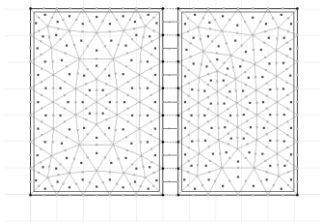
3. Sélectionnez la ligne maîtresse de l'élément de liaison. Cliquez sur **VALIDER** dans la barre d'outils de sélection.

4. Définir la rigidité du lien et définir l'emplacement de l'interface. Par défaut, l'interface se trouve au milieu de l'élément de liaison. Le ou les éléments de liaison sont créés.



5. Vous pouvez maintenant mailler les domaines.
   Voir... *4.11.1.2. Maillage des domaines*

6. Les éléments de liaison sont divisés en fonction du maillage du domaine.



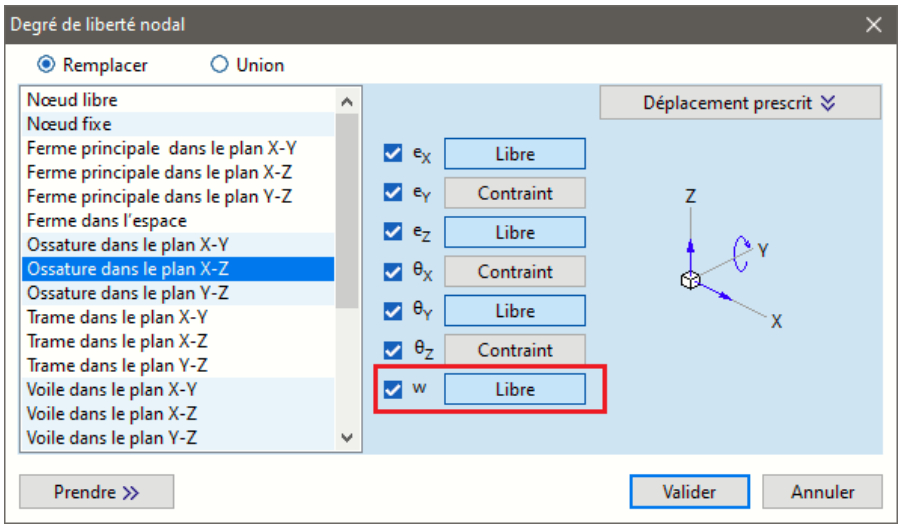
4.9.21. DDL Nodal (degrés de liberté)



Les nœuds eux-mêmes ne sont pas des éléments finis mais leurs degrés de liberté sont étroitement liés à l'analyse par éléments finis. Le dialogue vous permet de contraindre les six (ou sept) degrés de liberté nodaux qui sont : les translations (e_X, e_Y, e_Z), rotations (θ_X, θ_Y and θ_Z) et la déformation *(w)* (si le projet contient une ou plusieurs poutres à 7 DDL, voir... *4.9.9.3 Poutre aux 7 DDL - Module 7 DDL).* Dans le réglage par défaut, aucun nœud n'a de degrés de liberté limités.
Pendant l'analyse, les équations d'équilibre seront uniquement écrites dans le sens des déplacements libres (translations/rotations).
Toute combinaison des six degrés de liberté nodaux (eX, eY, eZ, θ_X, θ_Y et θ_Z) peut être sélectionnée. Toutefois, dans de nombreux cas, des combinaisons typiques de degrés de liberté peuvent être utilisées. Dans ces situations, vous pouvez rapidement appliquer un paramètre prédéfini en le sélectionnant dans la zone de liste.

Les structures particulières suivantes sont énumérées :

Ferme principale en plan / ferme spatiale / Structure plane / Trame / Membrane / Plaque



Définir un DDL Nodal

Utilisez les boutons pour régler les degrés de liberté. Les légendes des boutons reflèteront la valeur actuelle. Les modifications ne seront appliquées qu'aux DDL nodaux dont la case correspondante est cochée. Les composants non cochés conserveront leur valeur d'origine dans la sélection.
Vous avez deux options pour changer de DDL nodal :

Écraser
Le nouveau paramètre écrase les paramètres de degrés de liberté existants des nœuds sélectionnés.
Union
Définit un degré de liberté contraint si la valeur existante ou la nouvelle valeur est contrainte. Cette option est utile dans la définition des conditions de symétrie.

Exemple d'union

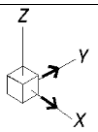
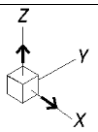
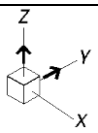
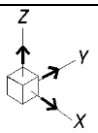
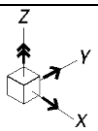
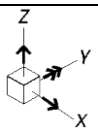
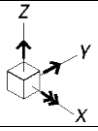
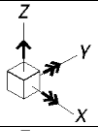
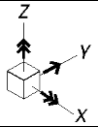
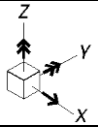
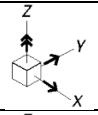
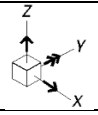
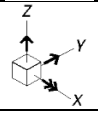
	ex	*eY*	*eZ*	*ΘX*	*ΘY*	*ΘZ*	*w*
Valeur initiale	*libre*	*contr.*	*libre*	*contr.*	*libre*	*contr.*	*libre*
Nouvelle valeur	*libre*	*libre*	*libre*	*contr.*	*contr.*	*contr.*	*libre*
Résultat	*libre*	*contr.*	*libre*	*Contr.*	*contr.*	*contr.*	*libre*

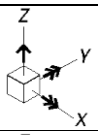
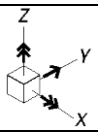
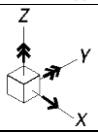
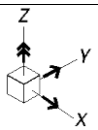
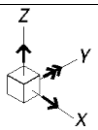
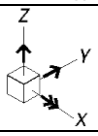
Les six degrés de liberté nodaux ($e_X, e_Y, e_Z, \theta_X, \theta_Y, \theta_Z$) sont fixés par un code à six caractères, composé de symboles f (libre) et c (contraint).
Chaque chiffre correspond à une composante de degré de liberté. Par défaut, les nœuds sont considérés comme libres (tous les zone de saisies ont des symboles f (free) qui veut dire libre). En mettant un chiffre à c (contraint), la composante de degré de liberté correspondante est contrainte. Le code DDL par défaut d'un nœud est [f f f f f f].

☞ **Les charges qui s'appliquent dans le sens d'un degré de liberté restreint ne sont pas prises en compte. Les charges dans la direction des degrés de liberté restreints apparaîtront dans le tableau des charges non équilibrées.**

Les nœuds dont le DDL est différent de [f f f f f f] sont affichés à l'écran en cyan.

Notations : ↑translation libre, ↟rotation libre autour de l'axe spécifié.

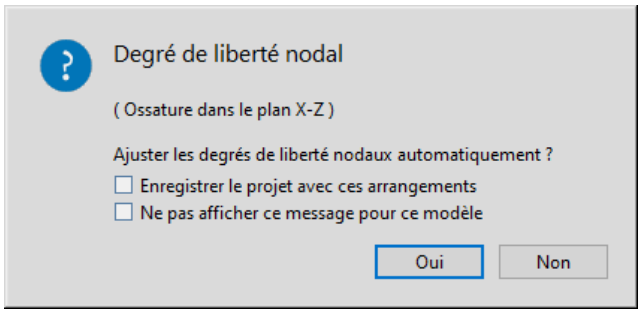
Degrés de liberté	*Déplacements libres*	*Degrés de liberté*	*Déplacements libres*
Ferme principale			
Ferme principale dans le Plan **X-Y**		Ferme principale dans le Plan **X-Z**	
Ferme principale dans le Plan **Y-Z**		Ferme principale spatiale	
Cadres			
Cadre dans le plan **X-Y**		Cadre dans le plan **X-Z**	
Cadre dans le plan **Y-Z**			
Trame			
Trame dans le plan **X-Y**		Trame dans le plan **X-Z**	
Trame dans le plan **Y-Z**			
Membranes			
Membrane dans le plan **X-Y**		Membrane dans le plan **X-Z**	
Membrane dans le plan **Y-Z**			

Degrés de liberté	*Déplacements libres*	*Degrés de liberté*	*Déplacements libres*
Plaques			
Plaque dans le plan **X-Y**		Plaque dans le plan **X-Z**	
Plaque dans le plan **Y-Z**			
Symétrie			
Plan de symétrie **X-Y**		Plan de symétrie **X-Z**	
Plan de symétrie **Y-Z**			

Prendre>> Les degrés de liberté peuvent être prélevés sur un autre nœud et assignés aux nœuds sélectionnés.

Vérification des DDL nodaux avant l'analyse

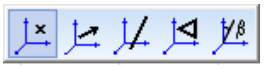
Avant le calcul, le programme vérifie si les degrés de liberté sont cohérents avec la géométrie et les charges de la structure et, si nécessaire, envoie un message pour modifier les degrés de liberté. Le réglage peut être temporaire ou être enregistré dans le projet en activant l'option *Enregistrer le modèle avec ces réglages.*



En activant la deuxième option *Ne pas afficher ce message pour ce projet*, AxisVM se souvient de nos choix et ce message n'apparaîtra jamais dans ce modèle, même si les changements de DDL nodaux n'ont pas été sauvegardés.
L'affichage de ce message peut être réactivé dans *Paramètres/Préférences/Analyse (en cochant Afficher un message sur les degrés de liberté nodaux avant l'analyse*). Voir... *3.3.11.13 Analyse*

4.9.22. Références





Permet de définir des points de référence, des vecteurs ou des axes, et des plans. Les références déterminent l'orientation des systèmes de coordonnées locales des éléments finis dans l'espace 3D. Le système de coordonnées locales des éléments définis avec les références est utilisé pour définir les propriétés de la section transversale et pour interpréter les résultats.
Les propriétés des éléments sont définies et les forces internes (*Nx, Vy, Vz, Tx, My, Mz* pour les poutres, *mx, my, mxy pour les* plaques, *nx, ny, nxy pour les* membranes, etc.) sont calculées dans ce système local

Modification rapide: En cliquant sur le symbole d'une référence, le Navigateur de Tableau est invoqué pour afficher le tableau des références. Le vecteur et l'axe de référence peuvent être définis par deux points, le plan de référence par trois points. En fermant le tableau, les vecteurs et axes de référence sont normalisés par rapport à 1.

Codes de couleur : ***x*** = rouge, ***y*** = jaune, ***z*** = vert.

Les références suivantes peuvent être utilisées :

Références automatiques

Références automatiques pour les éléments de ferme et de poutre :
Un vecteur de référence est généré et attribué aux éléments de ferme et de poutre comme suit :

Si l'axe de l'élément est parallèle à l'axe Z global, le vecteur de référence sera parallèle à l'axe X global. Dans tous les autres cas, il sera parallèle à l'axe Z global.
Pour les arcs: si le plan de l'arc est parallèle au plan global X-Y, la référence automatique est perpendiculaire à celui-ci et pointe vers la direction +Z. Si l'arc se trouve dans un autre plan, son vecteur de référence se trouve dans le plan de l'arc et pointe vers l'extérieur à partir du point central de l'arc.

Références automatiques pour les éléments de nervures :

Si la nervure est indépendante, le vecteur de référence sera généré et attribué à l'élément comme pour les éléments de la poutre.

Si la nervure est reliée à un élément surfacique, la génération du vecteur de référence est la suivante :
Le vecteur de référence sera parallèle à la bissectrice des axes z locaux (normaux aux surfaces) des surfaces sur lesquelles est fixé l'élément de nervure.

Références automatiques pour les domaines et les éléments surfacique :

Des vecteurs de référence seront générés et attribués aux surfaces comme suit :
Référence locale de l'axe des x

Si le plan de la surface est parallèle au plan X-Y, le vecteur de référence pour l'axe local x sera généré comme un vecteur parallèle à l'axe X global.

Dans tous les autres cas, il sera parallèle à la ligne d'intersection des surfaces et au plan X-Y.

Référence locale de l'axe des z

Si le plan de l'élément surfacique est parallèle à l'axe Z, la référence générée sera un vecteur orienté vers l'origine du système global XYZ. Si l'origine globale est dans le plan de la surface, le vecteur de référence pointe vers le demi-espace positif dans la direction X ou Y. Dans tous les autres cas, il sera parallèle à l'axe Z global.

L'élément de menu *Édition / Conversion des références automatiques* convertit les références automatiques en vecteurs de référence.

Point de référence

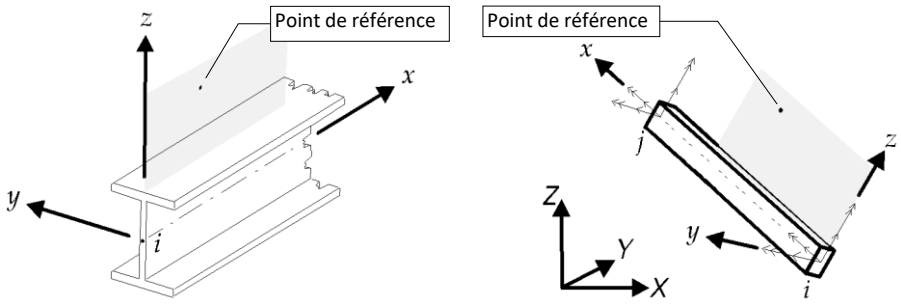


Le point de référence est utilisé pour définir l'orientation (système de coordonnées locales) des éléments de la poutre, de la nervure, de l'appui et du ressort ou pour définir les axes locaux positifs x et z des éléments surfacique.
Les points de référence sont définis (par ses coordonnées) dans le système de coordonnées global.

Les points de référence sont affichés à l'écran sous forme de petits symboles rouges +.

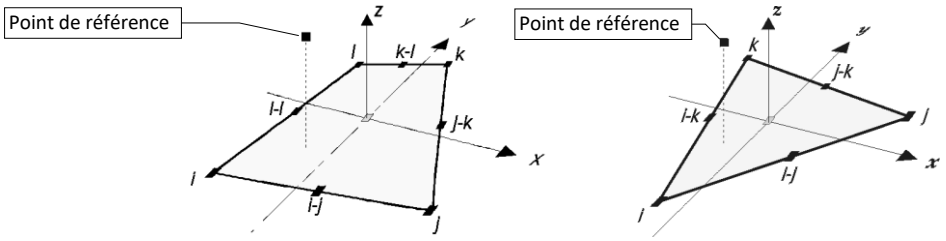
Poutres, nervures et ressorts :

Le point de référence et l'axe local ***x*** *de l'*élément définissent le plan local ***x-z.*** *La* direction positive des axes locaux ***y*** et ***z*** est déterminée par la règle de la main droite.

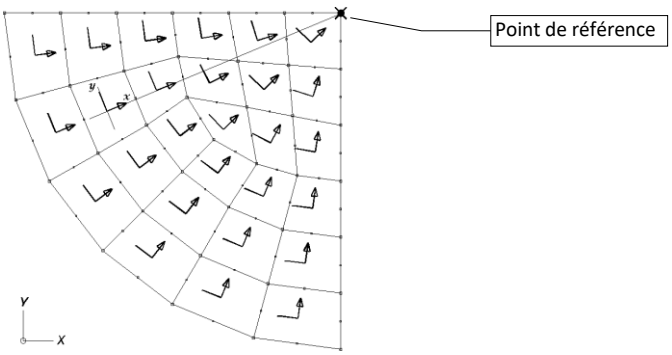


Les éléments surfaciques :

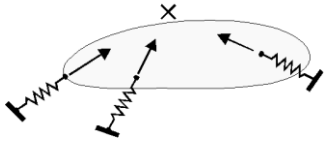
L'axe *z* local positif est orienté vers le demi-espace dans lequel se trouve le point de référence, et est perpendiculaire au plan de l'élément. Une fois que l'axe *x local est* défini, l'*axe y* local est déterminé selon la règle de la main droite.



L'axe ***x*** local sera orienté dans la direction du point de référence.
Dans le cas d'un élément surfacique, le point de référence doit être situé dans le plan de l'élément.



Appuis:
Dans le cas d'un élément d'appui, vous pouvez utiliser un point de référence pour définir l'axe x local.



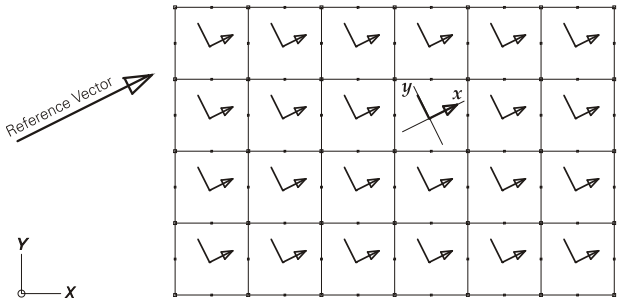
Vecteur de référence



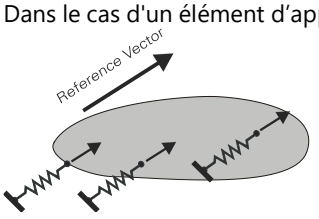
Cette commande vous permet de définir l'axe des ***x*** local pour les éléments surfacique, d'appui et de ressort. Permet également de définir l'orientation de l'axe local des coordonnées z des éléments de poutre, de nervure et de ressort.

Les vecteurs de référence sont affichés à l'écran sous forme de flèches rouges.

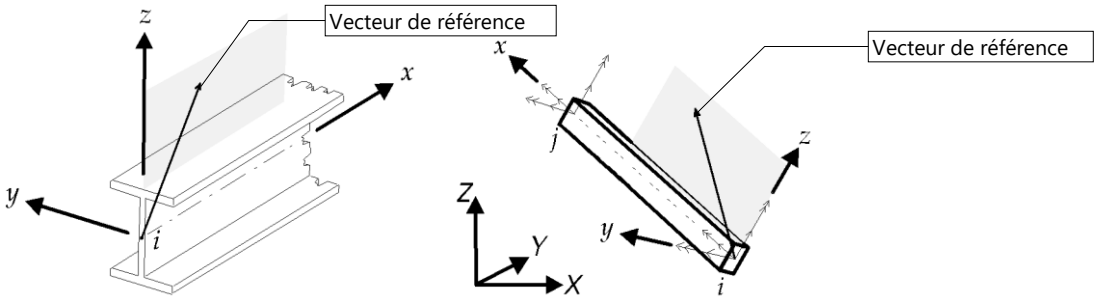
Surfaces:
L'axe ***x*** local sera parallèle au vecteur de référence. Dans le cas d'un élément surfacique, le vecteur de référence doit être parallèle au plan de l'élément.
L'orientation de l'*axe z* local peut également être définie par un vecteur de référence.



Appuis:
Dans le cas d'un élément d'appui, vous pouvez utiliser un vecteur de référence pour définir l'axe x local.



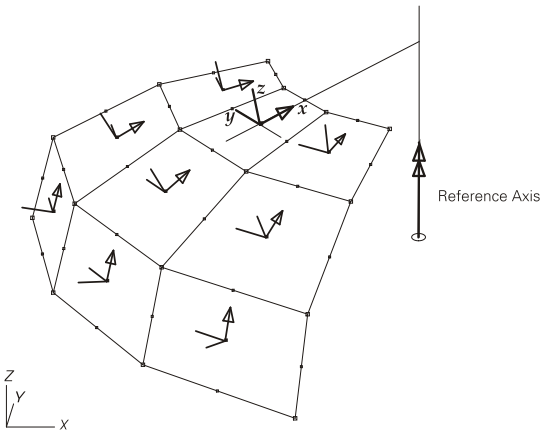
Poutres, nervures et ressorts:
Le vecteur de référence et l'axe ***x*** local de l'élément définissent le plan ***x-z*** local.
La direction locale positive des axes ***y*** et ***z est*** déterminée par la règle de droite.



Axe de référence



L'axe de référence est utilisé pour définir l'***axe x*** local des éléments surfacique, qui seront orientés vers l'axe de référence. L'axe de référence ne doit pas inclure le point central de l'élément.

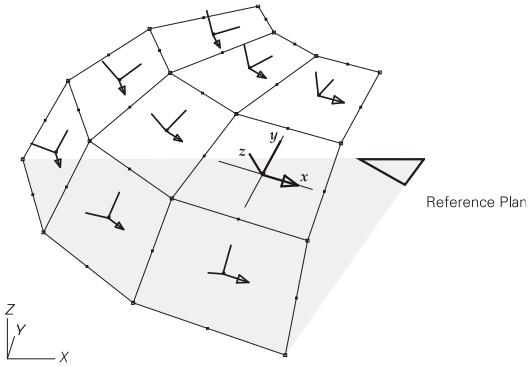


Les axes de référence sont affichés à l'écran sous forme de flèches rouges.

Plan de référence



Le plan de référence est utilisé pour définir l'axe ***x*** local des éléments surfaciques, qui sera parallèle à la ligne d'intersection du plan de référence et du plan de l'élément. Le plan de référence ne doit pas être parallèle au plan de l'élément.



Angle de référence



La rotation des sections transversales des fermes, de poutres et des nervures est facilitée par l'angle de référence. Le système automatique de coordonnées locales (et la section transversale) peut être tourné autour de l'axe de l'élément selon un angle personnalisé. Si l'élément est parallèle à la direction globale Z, l'angle est relatif à l'axe global X. Dans tous les autres cas, l'angle est relatif à l'axe global Z.

Le plan de référence est affiché à l'écran sous la forme d'un triangle rouge.

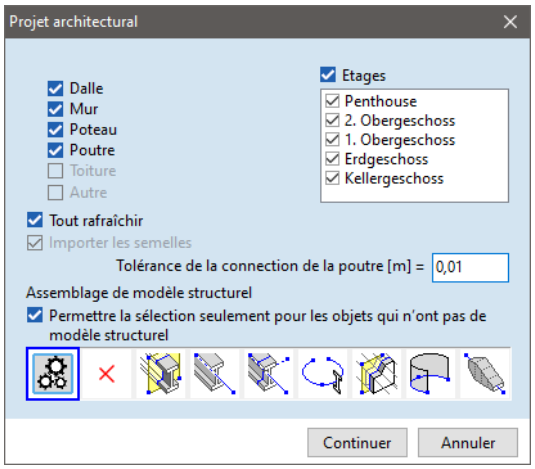
☞ **Les références non utilisées peuvent être supprimées dans le navigateur de tableaux en sélectionnant Références et en choisissant Édition / Supprimer les références non utilisées dans le menu.**

4.9.23. Création d'une ossature projet à partir d'un projet architectural



La création d'une ossature projet nécessite le module IFC.

Cette icône lance l'opération de conversion du projet architectural si auparavant un fichier IFC (*.IFC) a été chargé par *Fichier / Importer* en tant que calque d'arrière-plan. Voir... *3.1.7.2 Importation de fichiers IFC*



Afficher — Sélectionnez les étages de projets architecturaux et les types d'éléments que vous souhaitez afficher.

☞ **Utilisez le filtre intégré pour améliorer la sélection.**

Si vous créez une ossature projet ou si vous supprimez des objets et que rien n'est sélectionné, la barre d'outils de sélection apparaît. Cliquez sur l'icône Filtre de propriété pour sélectionner des poutres et des poteaux dans une certaine plage de taille de section transversale en fonction de leur longueur latérale minimale ou pour sélectionner des murs ou des dalles dans une certaine plage d'épaisseur.
Si vous souhaitez restaurer l'ensemble de la gamme, cliquez sur le bouton en bas à gauche.
Si la case *Assemblage de modèle structurel* est cochée, les éléments n'ayant pas de projet statique seront sélectionnés.

Rafraîchir tout — Rend le projet architectural visible dans toutes les fenêtres.

Importer les semelles — S'il est activé, les bas de page du fichier IFC sont également traités.

☞ **La suppression d'un objet architectural ayant un projet statique ne supprime pas le projet statique qui lui est associé.**

Créer une ossature projet — L'ossature du projet sera créée à partir d'éléments de calque sélectionnés. Les poteaux seront réduits à leur axe, les murs, les dalles et les toits seront réduits à leur plan central. Les nœuds et les lignes de l'ossature deviennent partie intégrante du projet AxisVM et sont indépendants du calque d'arrière-plan. Lors de l'importation de fichiers ifc, il n'est pas toujours possible de détecter les cadres statiques des objets. Les objets dont la détection des trames statiques a échoué sont affichés à l'écran avec une ligne pointillée. L'utilisateur a maintenant de nombreuses possibilités pour créer, modifier ou supprimer le projet statique :



Auto-détection de l'ossature statique : dans la mesure où la méthode de détection automatique a été efficace lors de l'importation, le programme peut utiliser ces données précalculées pour créer une trame statique. **Plusieurs éléments peuvent être sélectionnés pour cette opération.**



Supprimer des objets : cette fonction permet à l'utilisateur de supprimer du projet les objets ifc sélectionnés. **Il est important de noter, cependant, que si nous supprimons des objets dont l'ossature statique a été créé auparavant, cette ossature ne sera pas supprimée avec l'objet. Il est possible de sélectionner plusieurs objets pour cette opération.**



Découper un objet en forme de poutres par un plan de section : les objets sélectionnés sont découpés par le plan de section que l'utilisateur a fourni en donnant 3 points. Ensuite, l'algorithme définit les sections transversales de tous les éléments sélectionnés et calcule leurs normales et leurs centres de gravité. Ces valeurs nous donnent les lignes d'impression des corps sélectionnés. Les segments résultants sont ensuite traités comme des ossatures statiques des objets, et les polygones calculés comme leurs sections transversales. **Plusieurs éléments peuvent être sélectionnés pour cette opération.**



Préciser l'axe pour définir la section transversale d'un élément en forme de poutre : l'utilisateur doit sélectionner deux points qui formeront une ligne. Cette ligne est ensuite imprimée sur les corps sélectionnés, et les segments qui en résultent serviront de lignes médianes aux objets. En prenant les points médians de ces segments et leurs vecteurs de direction, on peut obtenir des plans de découpe. À l'étape finale, les segments sont déplacés vers les centres de gravité des sections transversales. **Plus d'un objet peut être sélectionné pour cette opération.**



Préciser l'axe et la section transversale représentative de l'élément sélectionné en forme de poutre : presque la même chose que l'opération précédente, sauf, qu'ici, la position de la section transversale doit être donnée par l'utilisateur également. Ensuite, la ligne centrale du corps sélectionné est modifiée de telle sorte que le point de départ reste inchangé, et le point d'arrivée est l'image miroir du point de départ par rapport à la section transversale. **Un seul élément peut être sélectionné pour cette opération.**



Spécifier l'axe de l'élément en forme de poutre circulaire sélectionné : l'utilisateur doit fournir un arc de 3 points. L'algorithme calcule ensuite les intersections de cet arc et du corps sélectionné. Si plus de 2 intersections sont obtenues, alors il prend les deux extrêmes. Le point central de l'arc résultant et la normale de l'arc fournissent un plan de découpe que l'algorithme utilise pour obtenir la section transversale. **Plus d'un élément peut être sélectionné pour cette opération.**



Définir une ossature de domaine par un plan de section : les domaines sélectionnés sont découpés par le plan donné par 3 points, et les polygones résultants seront les ossatures statiques des objets. **Plusieurs objets peuvent être sélectionnés pour cette opération.**



Définir l'ossature d'une surface cintrée par un cylindre d'intersection. L'utilisateur doit fournir un cylindre que l'algorithme utilisera pour la découpe. Ce cylindre est réglé en deux étapes. Tout d'abord, un arc est obtenu par 3 points. Ensuite, cet arc de cercle est décalé lors du déplacement du curseur. Cet arc résultant sert de base au cylindre. Sa hauteur est calculée automatiquement à partir des paramètres géométriques du corps sélectionné. Enfin, l'ossature statique est le résultat de l'intersection du cylindre et du corps sélectionné. **Un seul élément peut être sélectionné pour cette opération.**

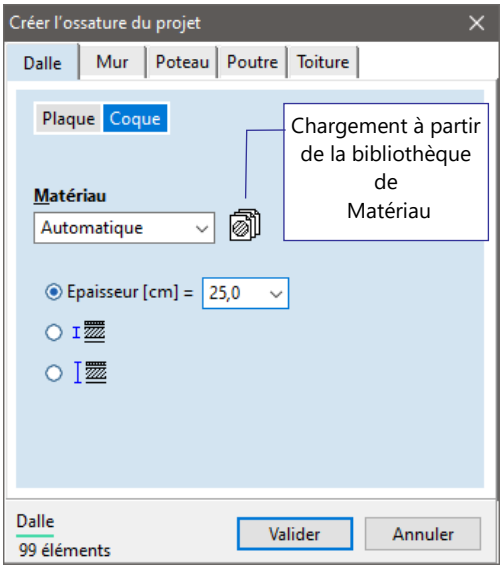
Dans toutes les opérations d'édition, l'utilisateur reçoit un retour visuel en temps réel sur l'ossature statique actuel, ce qui permet d'éditer le projet statique correct de l'objet. Cependant, une pré-édition peut parfois être nécessaire. Un filtre optionnel permet de filtrer les objets ifc dont le projet statique a déjà été calculé. Cependant, si nous éditons un objet avec un projet statique existant, le résultat de l'opération écrasera l'ancienne ossature statique.

Des parties seront automatiquement créées pour les niveaux et les types d'objets et les éléments créés pour le projet statique seront inclus dans les parties appropriées.

Il est possible de modéliser les assemblages muraux à rotules en utilisant des rotules de bord lors de la création d'une ossature projet à partir du projet architectural.

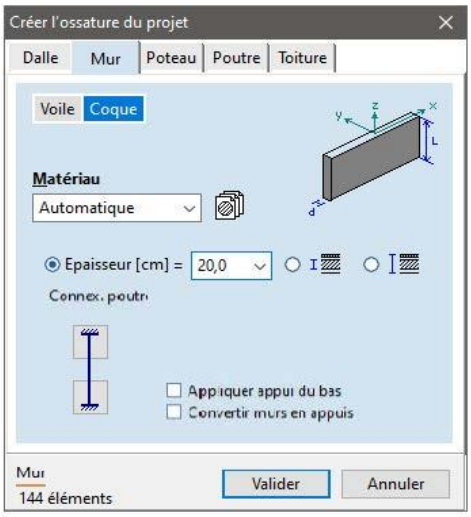
Si le champ *Matériau* est réglé sur *Automatique*, et que le fichier IFC comprend des données et des affectations de matériaux, le projet les importera.
Vous pouvez attribuer des propriétés aux objets architecturaux sélectionnés comme suit :

Dalle



Les planchers peuvent être définis comme des plaques ou des coquilles. Attribuez un matériau et une épaisseur. Pour les calques « planchers », l'épaisseur des calques apparaîtra dans la liste des calques. Vous pouvez sélectionner les calques que vous voulez prendre en compte.

Mur

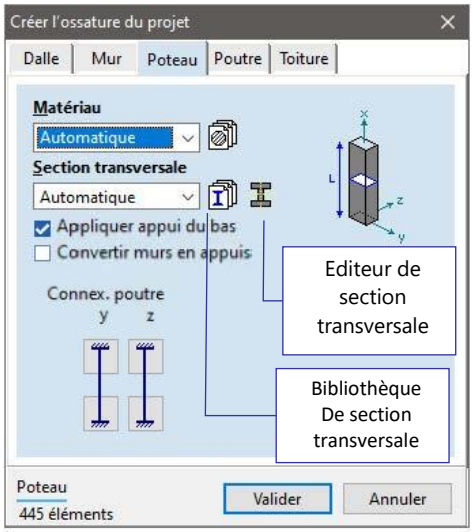


Les murs peuvent être définis comme des membranes ou des coquilles. Attribuez un matériau et une épaisseur. Pour les calques « murs » vous pouvez choisir d'appliquer l'épaisseur du calque de support de charge, l'épaisseur totale ou une valeur personnalisée.

Appliquer l'appui inférieur :
Vous pouvez attribuer automatiquement un appui au bord inférieur des murs sélectionnés.

Convertir les murs en appuis: Vous pouvez convertir des objets « murs » en appuis en activant cette case à cocher. L'appui sera placé sur le bord supérieur du mur correspondant. La rigidité de l'appui sera calculée sur la base des connexions des extrémités supérieure et inférieure.

Poteau

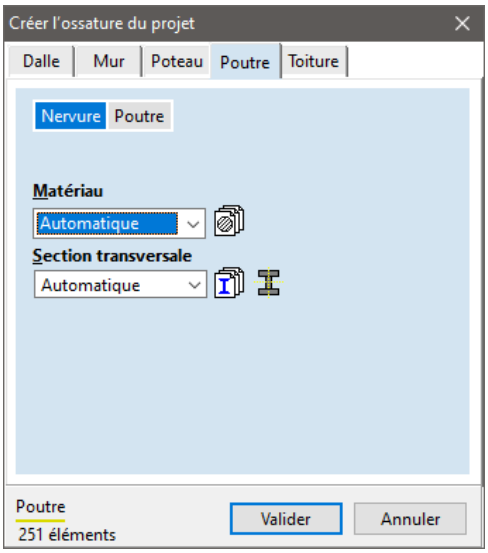


Les objets « poteau » sont toujours convertis en éléments de poutre. Attribuez un matériau et une section transversale. Si l'option *Auto* est sélectionnée, la section transversale est créée sur la base de la description géométrique de l'objet architectural.

Vous pouvez attribuer un appui au bas du poteau.

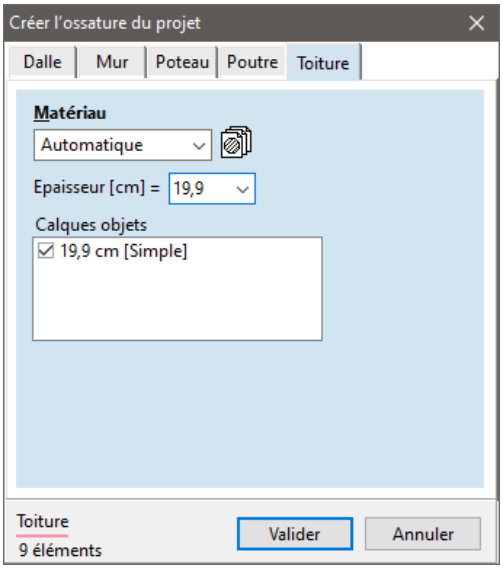
Convertir les poteaux en appuis : Les objets « poteau » sélectionnés peuvent être convertis en appuis. La rigidité des appuis est établie en fonction des connexions aux extrémités. Les appuis seront placés en haut du poteau.

Poutre



Les objets « poutre » sont toujours convertis en éléments de poutre. Attribuez un matériau et la section transversale.
Si l'option *Auto* est sélectionnée, la section transversale est créée sur la base de la description géométrique de l'objet architectural.

Toit



Les objets « toit » sont toujours convertis en éléments de coquille. Attribuez un matériau et une section transversale.
Pour les calques « toits », l'épaisseur des calques apparaîtra dans la liste des calques.

Vous pouvez sélectionner les calques que vous voulez prendre en compte.

4.9.24. Modifier

Permet de modifier la définition des éléments sélectionnés.

1. En maintenant la touche **[Maj] enfoncée**, sélectionnez les éléments à modifier. Vous pouvez également utiliser l'icône de sélection.
2. Cliquez sur l'icône de l'élément dans la barre d'outils des éléments.
3. Dans la fenêtre de dialogue de l'élément, cochez les propriétés que vous souhaitez modifier. Les champs de propriétés indiquent la valeur commune dans la sélection. Si les éléments sélectionnés ont des valeurs différentes, le champ est vide.
4. modifier les propriétés respectives comme vous le souhaitez.
5. Cliquez sur le bouton **VALIDER** pour appliquer les modifications et quitter la fenêtre de dialogue.

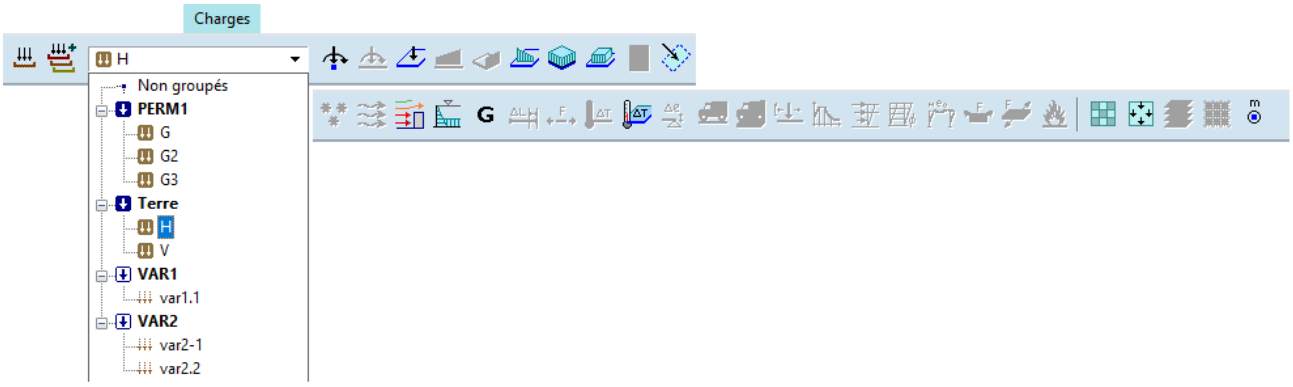
☞ **En fait, la modification est similaire à la définition des éléments, mais n'attribue pas de propriétés aux éléments géométriques non définis et permet d'accéder à une propriété spécifique sans en modifier d'autres. Vous pouvez passer à la case d'option de la définition de l'élément pour définir toutes les propriétés de tous les éléments, lignes ou surfaces sélectionnés.**

Mode immédiat Si l'onglet Géométrie ou Éléments est actif, cliquez sur un élément fini pour modifier ses propriétés. Si plusieurs éléments finis ont été sélectionnés, ils peuvent être immédiatement modifiés en cliquant sur l'un d'entre eux. Si vous cliquez sur un élément qui n'est pas sélectionné, la sélection disparaît et vous pouvez modifier l'élément sur lequel vous avez cliqué. Si vous cliquez sur un nœud, ses degrés de liberté nodaux peuvent être modifiés immédiatement.
Vous pouvez également modifier les propriétés à l'aide de l'éditeur de propriétés.
Voir... *3.6.1 Editeur de propriétés*

4.9.25. Supprimer

[Suppr] Voir... *3.2.9. Supprimer*

4.10. Charges



itt tartokitt tartok

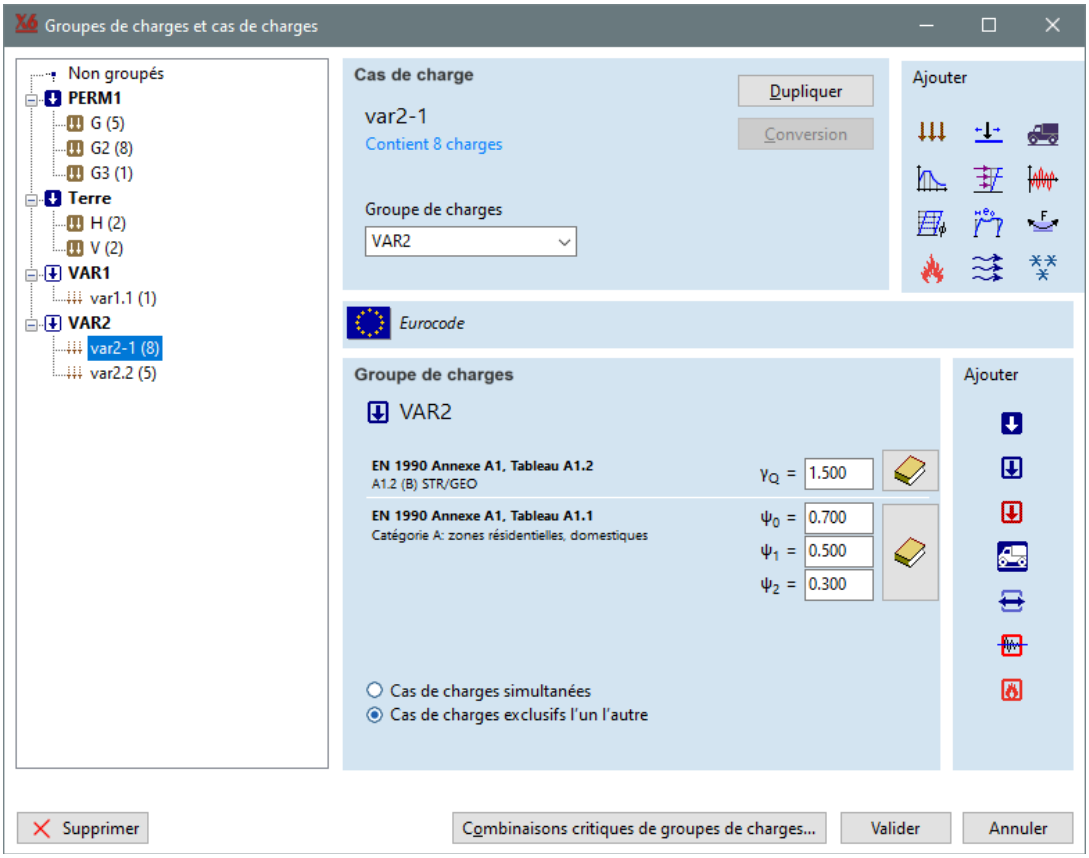
Cette commande vous permet d'appliquer diverses charges statiques pour l'analyse statique, dynamique et de flambement, et de définir des masses ponctuelles pour l'analyse des vibrations. Le cas de charge actuel peut être sélectionné dans la liste déroulante.

4.10.1. Cas de charge, groupes de charges

Cas de charge
Groupes de charges



Cette commande vous permet de définir les cas de charge actuels, d'en créer de nouveaux et de modifier ou supprimer les cas de charge existants. Toutes charges que vous créez sera stocké dans le cas de charge actuel. Dans la version professionnelle, le nombre de cas de charge n'est pas limité. Dans la version standard, un maximum de 99 cas peut être créé. Des groupes de charges peuvent également être créés à partir des différents cas de charge.



Nouveau cas Vous devez attribuer un nom différent à chaque cas. Voici les types de cas de charge possibles parmi lesquels vous pouvez choisir lorsque vous souhaitez créer un nouveau cas de charge :



1. Statique

Le cas de la charge statique peut être appliqué à l'analyse de la statique, des vibrations et du flambement. Dans le cas de l'analyse des vibrations, les charges peuvent également être prises en compte en tant que masses.

Le cas de charge peut être inclus dans un groupe de charge. Lors du calcul de la combinaison de charge critique, le cas de charge sera pris en compte selon les paramètres du groupe de charge auquel il appartient.

☞ **La combinaison critique ne peut être déterminée qu'à partir des résultats d'une analyse statique linéaire.**

2. Ligne d'influence

Permet d'appliquer une charge de déplacement relatif pour obtenir la ligne d'influence d'une composante de résultat, d'un élément de ferme ou de poutre.

☞ **Lorsque le type de cas de charge linéaire d'influence est sélectionné, vous pouvez appliquer uniquement la charge linéaire d'influence.**

3. Mobile

Dans ce type de cas de charge, seules les charges mobiles (en ligne ou en surface) peuvent être définies. Lors de la définition d'une charge mobile, un groupe de nouveaux cas de charge sera créé. Le nombre de ces cas de charge est égal au nombre d'étapes spécifiées dans le dialogue de définition de la charge mobile. Leur nom est créé automatiquement comme *MOV_xx*. Lorsqu'ils sont placés dans un groupe de charges, l'effet le plus défavorable de la charge mobile peut être vérifié en affichant le résultat de la combinaison critique. Ces cas de charge auto-créés peuvent être déplacés ensemble seulement et seulement dans un autre groupe de charge mobile.

Si plus d'une charge mobile est appliquée dans le même cas de charge, le nombre d'étapes (et les cas de charge auto-créés) sera égal au nombre maximum d'étapes spécifié. Si le nombre maximum d'étapes est *k*, et qu'une autre charge mobile a *i* étapes *(i < k)*, alors cette charge restera à la fin du chemin par les étapes i+1, *i+2, ..., k*.

Voir les détails... *4.10.29. Charges mobiles*

☞ **Les cas de charges mobiles ne peuvent être placés que dans des groupes de charges mobiles. Les charges statiques peuvent également être définies dans les cas de charges mobiles. Elles seront présentes dans toutes les étapes mais uniquement dans les cas de charges mobiles.**

4. Sismique (le module SE1 est nécessaire)

Lors de la sélection du type de cas de charges sismiques, vous pouvez spécifier les paramètres de calcul des charges sismiques. Avant de créer un cas de charges sismiques, vous devez effectuer une analyse des vibrations. Sur la base des formes de mode et des masses structurelles, AxisVM génère un cas de charges sismiques, dans un nombre *k+2*, où *k est* le nombre de plus petites fréquences disponibles. Les deux cas supplémentaires correspondent aux signes **+,** et **-**, qui contiennent les combinaisons critiques.

De multiples actions sismiques peuvent être définies pour la structure. Les actions sismiques ne peuvent pas être combinées.

Voir les détails... *4.10.24. Charges sismiques - module SE1*

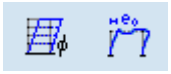
☞ **Lors de la sélection du cas de charges sismiques, la seule icône disponible sur la barre d'outils sera "Paramètres Sismiques".**

5. Poussée (le module SE2 est nécessaire)

En sélectionnant le type de cas de charge Poussée, vous pouvez spécifier des paramètres pour générer des distributions de charge qui peuvent être utilisées dans les analyses de Poussée. Avant de créer un cas de charge de Poussée vous devez effectuer une analyse des vibrations. Sur la base des formes de mode spécifiées, AxisVM génère des forces nodales sur chaque nœud du projet. Au total, quatre cas de charge sont générés initialement. Ils représentent une distribution uniforme (U) et modale (M) dans la direction de chacun des axes horizontaux (X et Y par défaut). L'option de distribution uniforme des charges génère des forces nodales proportionnelles aux masses affectées

à chaque nœud du projet. La distribution modale de la charge utilise la forme du mode pesée par les masses à chaque nœud pour générer la distribution nodale des forces. Dans les deux cas, la somme des forces générées est de 1 kN dans la même direction horizontale.
Voir les détails... *4.10.25. Charge de poussée - module SE2*

☞ **Lorsque vous sélectionnez le cas de chargement par poussée, la seule icône disponible sur la barre d'outils sera Paramètres de poussée.**



6. Imperfection globale et imperfection des formes de flambage

Si un cas de charge d'imperfection est créé, il est automatiquement placé dans un groupe de charge d'imperfection qui ne peut contenir que des cas de charge d'imperfection. Ce groupe de charge n'a pas de paramètres et est automatiquement supprimé si leurs cas de charge sont supprimés. Les cas de charge d'imperfection peuvent être utilisés dans une analyse non linéaire avec non-linéarité géométrique. Lors de la génération de combinaisons de charges ELU critiques dans le tableau des combinaisons de charges, les cas de charges d'imperfection peuvent être inclus. Les combinaisons de charges incluant un cas de charge d'imperfection nécessitent une analyse non linéaire avec non-linéarité géométrique.
Voir détails... *4.10.26. Imperfection globale*

☞ **Les cas de charge d'imperfection ne contribuent pas aux combinaisons critiques de résultats d'analyse linéaire.**



7. Tension (module PS1 requis)

Si le calcul de la tension selon le code d'étude actuel est pris en charge, des cas de charge de tension peuvent être créés. Ces cas de charge entrent toujours dans un groupe de charge de tension. Après avoir défini un cas de charge avec le *nom name,* deux cas de charge seront créés. *name-T0* contiendra la charge équivalente calculée pour la fin du processus de tension, *name-, TI* contiendra les valeurs à long terme de la charge équivalente. Chacun de ces cas de charge peut être sélectionné pour définir la mise sous tension. Après la définition, seules les charges pour *nom-T0* seront calculées, car les résultats de l'analyse statique sont nécessaires pour déterminer les charges équivalentes à long terme. Voir les détails**...** *4.10.28 Tension - module PS1*

☞ **Lorsque vous sélectionnez le cas de charge tension, la seule icône disponible sur la barre d'outils est Tension.**

8. Dynamique (le module DYN est nécessaire)



Après avoir défini un cas de charge dynamique et l'avoir sélectionné, l'onglet Charges permet de définir les charges dynamiques et l'accélération nodale.
Voir détails... *4.10.30. Charges dynamiques (pour l'analyse temps / événement) - module DYN*

☞ **Les cas de charge dynamique ne peuvent pas être inclus dans les groupes de charge et les combinaisons de charge. Les charges à l'intérieur des cas de charge dynamique seront appliquées uniquement dans l'analyse dynamique.**



9. Neige (module SWG requis)

AxisVM peut calculer et appliquer les charges de neige sur la structure. Les limites de la génération automatique de la charge de neige dans le programme sont expliquées dans le paragraphe *4.10.13. Charge de neige - module SWG*
Les charges de neige peuvent être placées sur des plans de chargements dans des plans arbitraires. Dans un premier temps, un cas de charge de neige temporaire est créé dans le groupe de charge de neige et son nom peut être défini. Si le code d'étude exige une vérification de la charge de neige exceptionnelle, un cas de charge de neige exceptionnelle est également créé dans un groupe de charge de neige exceptionnelle (sauf pour les charges de neige exceptionnelles selon l'annexe B de l'Eurocode 1-3). Après avoir défini les plans de chargement et défini les paramètres de charge de neige, le programme remplace le cas de charge temporaire par des cas de charge de neige générés automatiquement.
Le cas de charge non dérivée reçoit un suffixe UD. Les cas de charge dérivée reçoivent un suffixe D avec 2 à 4 caractères supplémentaires. Ces caractères indiquent la direction du vent (X+, X-, Y+, Y-). Outre les vents parallèles aux axes de coordonnées, les vents de 45°+n*90° (où *n* = 0, 1, 2, 3) sont également pris en compte et sont indiqués par le quadrant où pointe le vecteur de vitesse du vent. X+Y- fait référence à un vent dans la direction de 315° par exemple (0° étant défini par l'axe X positif, et les angles mesurés dans le sens inverse des aiguilles d'une montre).
Seuls les cas de charge nécessaires sont créés par l'algorithme, par conséquent le nombre de cas de charge et leur type dépendent du type de structure considéré et des paramètres de charge de neige donnés par l'utilisateur. Les paramètres de charge doivent être définis après avoir fermé le dialogue

des cas de charge en cliquant sur l'icône Charge de neige dans la barre d'outils. Avant cette étape, il est recommandé de définir les plans de chargement du toit en utilisant l'icône Plans de chargement dans la barre d'outils. Pour plus de détails sur la génération de la charge de neige, voir... *4.10.13. Charge de neige - module SWG*

☞ **Si un cas de charge de neige est sélectionné, seuls deux boutons sont activés sur la barre d'outils Charges. Il s'agit du plan de chargement et de la définition de la charge de neige.**



10. Vent (le module GTS est nécessaire)

Lors de la définition paramétrique des charges de vent, il est nécessaire de définir une ou plusieurs sous-structures exposées au vent. Si l'on vérifie des *cas de charge distincts pour chaque sous-structure, les* charges de vent des différentes sous-structures seront générées dans des cas de charge différents. Sinon, les cas de charge contiendront les charges de vent pour plusieurs sous-structures.

Les charges de vent calculées ne sont fiables que pour certains types de bâtiments, comme décrit dans le code d'étude. Il est recommandé d'utiliser ces méthodes automatiques uniquement pour les géométries comprises dans les limites expliquées en détail au point *4.10.14. Charge de vent - module SWG.* Les charges de vent peuvent être placées sur des plans de chargement dans des plans arbitraires. Dans un premier temps, un cas de charge de vent temporaire est créé dans le groupe de chargement de vent et le nom du cas de charge de vent peut être défini. Après avoir défini les plans de chargement et réglé les paramètres de la charge de vent, le programme remplace le cas de charge temporaire par des cas de charge de vent générés automatiquement.

Les cas de charge de vent sont générés avec un code de nom correspondant à la situation de chargement.

Les deux premiers caractères après le nom du cas de charge décrivent la direction du vent (X+, X-, Y+, Y-). La logique derrière cette notation est la même que pour les charges de neige. Le ou les deux caractères suivants indiquent le type d'action du vent.

P et S désignent respectivement la pression et la succion. Pour les toits en pente, le code d'étude exige de vérifier toutes les combinaisons possibles d'actions du vent sur les deux côtés du toit. Par conséquent, pour les toits en pente, des cas de charge Pp, Ps, Sp et Ss sont créés. Ici, le premier caractère se rapporte au côté balayé par le vent, le second au côté abrité. Pour les actions de torsion spéciales, T+ et T- sont utilisés en se référant aux deux directions de torsion différentes.

Le dernier caractère indique le type d'action interne. Les actions internes du vent sont ignorées pour O ; P représente la pression interne, S représente l'aspiration interne. Ces cas de charge ne sont nécessaires que si aucune autre information n'est disponible sur la pression interne, de sorte qu'une valeur critique positive et négative doit être utilisée comme approximation du côté conservateur. Si le dernier caractère est C, le cas de charge a été créé sur la base d'une valeur μ définie par l'utilisateur qui dépend de la disposition des ouvertures de la structure. Si un cas de charge C est créé pour une direction donnée, les cas de charge P et S ne sont pas nécessaires, donc pas créés.

Seuls les cas de charge nécessaires sont créés par l'algorithme, par conséquent le nombre de cas de charge et leur type dépendent du type de structure considéré et des paramètres de charge de vent donnés par l'utilisateur. Les paramètres de charge doivent être définis après avoir fermé le dialogue des cas de charge en cliquant sur l'icône de la charge de vent dans la barre d'outils. Avant cette étape, il est recommandé de définir les plans de chargement des murs et du toit du bâtiment en utilisant l'icône Plans de chargement dans la barre d'outils.

Pour plus de détails sur la définition de la charge de vent, voir... *4.10.14. Charge de vent - module SWG*

☞ **Si un cas de charge de vent est sélectionné, seuls deux boutons sont activés sur la barre d'outils Charges. Il s'agit du plan de chargement et de la définition de la charge de vent.**



11. Feu (module SD8 ou TD8 requis)

Les effets du feu peuvent être attribués à des éléments linéaires en acier et en bois.

Les groupes de charge d'incendie ne contiennent que des cas de charge d'incendie. Ce groupe de charge n'a pas de paramètres et est automatiquement supprimé si leurs cas de charge sont supprimés.

Dans le processus de recherche des combinaisons critiques, AxisVM ne prend en compte les cas de charge d'incendie que dans les combinaisons de charge accidentelles. Cependant, il est également possible de prendre en compte des cas de charge d'incendie dans des combinaisons de charges spécifiées par l'utilisateur.

La définition des effets du feu est examinée aux points *4.10.31. Effet du feu sur les éléments linaires en acier - module SD8* et *4.10.32 Effet du feu sur les éléments linéaires en bois - module TD8*

☞ **Si un cas de charge d'incendie est sélectionné, seul le bouton Effet du feu sur les éléments en acier/bois est activé dans la barre d'outils Charges.**

Classe de charge-durée

Le module d'étude du bois nécessite des informations sur la durée de la charge. Ainsi, si un matériau en bois a été défini dans la classe de durée du cas de charge projet, il peut être saisi. *(Permanent: > 10 ans ; Long terme: 6 mois-10 ans ; Moyen terme: 1 semaine6 mois ; Court terme: < 1 semaine ; Instantané ; Indéfini)*

Dupliquer

Cette commande vous permet de faire une copie du cas de charge sélectionné sous un autre nom. Vous devez spécifier le nouveau nom, ainsi qu'un facteur qui multipliera les charges lors de la copie. Le facteur peut également être un nombre négatif.

☞ **Les charges sélectionnées peuvent être copiées ou déplacées vers un autre cas de charge en changeant de cas de charge pendant le processus de copie ou de déplacement.**

Conversion

Les cas de charge de neige ou de vent générés peuvent être convertis en cas de charge normale en cliquant sur le bouton *Conversion*. Tous les cas de charge du type sélectionné seront convertis. Après la conversion, les charges converties et les cas de charge peuvent être supprimés et modifiés.

Supprimer

Permet de supprimer le cas de charge ou le groupe de charge sélectionné. Tous les cas de charge et groupes de charge connexes seront également supprimés (par exemple, la suppression d'un groupe de charges sismiques supprime toutes les charges sismiques générées et leur groupe de charge également).

Pour modifier l'ordre des cas de charge, cliquez avec le bouton droit de la souris sur un cas de charge dans l'arbre. Sélectionnez *Ordre alphabétique* ou *Ordre de définition* dans le menu contextuel pour réorganiser les cas de charge dans le groupe.

Pour modifier la position des cas de charge non groupés, choisissez l'une des deux options (*Cas de charge non groupés en premier ou ...à la fin*).

Cliquez avec le bouton droit de la souris sur la liste, sélectionnez *Ordre des cas de charge* pour accéder à une boîte de dialogue définissant l'ordre des cas de charge. Ce dialogue est également disponible dans le navigateur de tableaux *(Format / Ordre des cas de charge)*.

Charger les Groupes de charges

Les groupes de charge sont utilisés lors de la génération des valeurs critiques (d'étude) des résultats.

Nouveau groupe

Permet de définir un nouveau groupe de charge. Vous devez préciser le nom et le type (permanent, accessoire, exceptionnel) du groupe de charge, ainsi que les facteurs correspondants selon le code d'étude en vigueur.



Cliquez sur ces boutons pour choisir dans la liste des valeurs recommandées en fonction du code d'étude actuel.

Plus tard, vous pourrez préciser quels cas de charge appartiennent à un groupe de charge spécifique. En cliquant sur n'importe quelle icône dans la zone de groupe Nouveau groupe, vous créez un nouveau groupe dans l'arbre et vous pouvez lui donner un nom. Les noms de groupes de charge existants seront rejetés. Après avoir créé un groupe de charge, vous devez spécifier la valeur de ses paramètres (comme le coefficient de sécurité, le facteur dynamique, le facteur de simultanéité, etc.) Un cas de charge peut être attribué à un groupe de charge en choisissant un groupe dans la liste déroulante ou en faisant glisser le cas de charge sous un groupe de charge dans l'arbre. Voir... *4.10.2. Combinaisons de charges*
Le comportement par défaut des nouveaux cas de charge peut être défini dans *Paramètres / Préférences/ Groupe de charge*. Voir... *3.3.11 Paramètres*

Les groupes de charge suivants sont autorisés en fonction du code d'étude:



Permanente
Comprend la charge statique, les caractéristiques permanentes de la structure...

Inclure tous les cas de charge dans les combinaisons
Tous les cas de charge du groupe seront pris en compte dans toutes les combinaisons de charge avec leur coefficient de sécurité supérieur ou inférieur.

N'inclure que le cas de charge le plus défavorable
Seul le cas de charge le plus défavorable sera pris en compte à partir du groupe de charge avec son coefficient de sécurité supérieur ou inférieur.

Variable
Comprend la charge utile, la charge due au vent, la charge due à la neige, la charge due à la piste de grue...

Cas de charge simultanée
Un nombre quelconque de cas de charge du groupe peut agir simultanément dans des combinaisons critiques.

Cas de charge mutuellement exclusifs
Dans une combinaison de charge critique, un seul cas de charge du groupe sera pris en compte à la fois.

Exceptionnel
Comprend les tremblements de terre, les enfoncements d'appui, les explosions, les collisions... Un seul cas de charge du groupe sera pris en compte dans une combinaison de charges à la fois. Ce cas de charge doit avoir le facteur de simultanéité de 0

Mobile
Les cas de charge auto-créés pour les charges mobiles d'un cas de charge mobile entrent dans un groupe de charges mobiles.

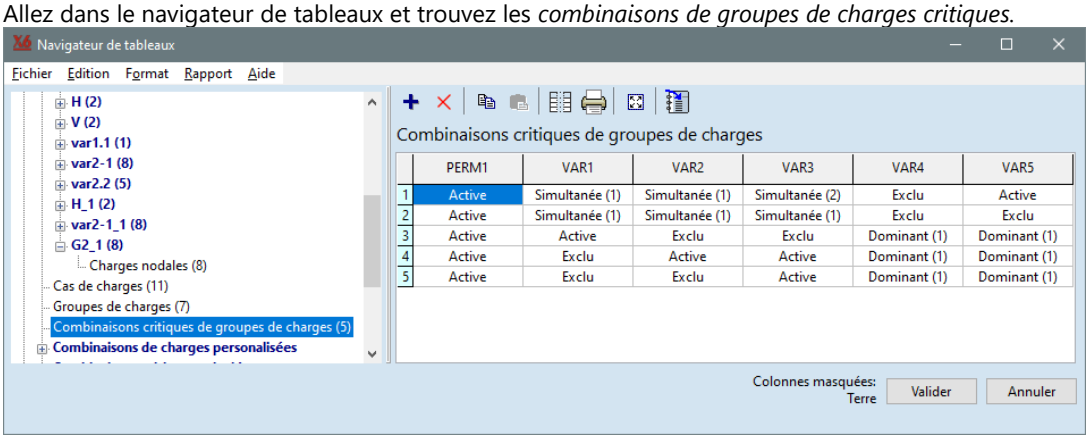
Tension (si la tension peut être calculée selon le code d'étude actuel)
Le groupe de charge Tension est traité comme un groupe de charge permanent. Il ne peut contenir que des cas de charge de tension. Les deux cas de charge pour la même Tension (nom-T0 et nom-TI) ne peuvent être inclus dans aucune combinaison de charge.

Sismique (Eurocode, SIA 26x, DIN 1045-1, STAS et code italien)
Un seul cas de charge du groupe sera pris en compte dans une combinaison de charge à la fois. Ce cas de charge doit avoir le facteur de simultanéité de $\alpha = 0$.

feu (Eurocode)
Les groupes de charge d'incendie ne contiennent que des cas de charge d'incendie. Les cas de charge peuvent être simultanés ou s'exclure mutuellement. Un élément linéaire ne peut avoir qu'un seul effet d'incendie dans les cas de charge simultanée.

Combinaisons Critiques de groupes de charges

Les combinaisons critiques sont déterminées en fonction des groupes de charge. Certaines situations de charge exclusive (comme la neige et la neige exceptionnelle) sont détectées (les combinaisons critiques ne comprennent donc pas à la fois la neige et les charges de neige exclusive). S'il est nécessaire d'assurer l'exclusivité entre les groupes de charge, il est possible de contrôler cela par des combinaisons critiques de groupes de charge.
Allez dans le navigateur de tableaux et trouvez les *combinaisons de groupes de charges critiques.*



Les colonnes du tableau énumèrent les groupes de charges définis dans le modèle. Chaque ligne décrit une règle pour générer des combinaisons critiques.

Cliquez sur l'icône Nouvelle ligne pour ajouter une nouvelle règle. L'état actif des groupes de charge permanents ne peut pas être modifié. Dans le cas des groupes de charge variables, la manière de contribuer aux combinaisons critiques peut être sélectionnée dans la liste déroulante.

Actif Les cas de charge du groupe de charge peuvent être inclus dans les combinaisons automatiques construites en interne.

Exclus

Les cas de charge du groupe de charge ne peuvent pas être inclus dans les combinaisons automatiques construites en interne. Des groupes de charge mutuellement exclusifs peuvent être créés en ajoutant autant de règles que le nombre de groupes de charge exclusifs, et un seul groupe doit être défini comme actif dans chaque ligne, laissant les autres groupes exclus.

Simultanéité (1), (2), ...

Les groupes de charge agissant simultanément comme groupes de simultanéité. Les groupes de charge ayant le même statut agissent toujours ensemble, c'est-à-dire qu'ils sont inclus ensemble dans les combinaisons automatiques. Il est possible de définir plus d'un groupe de simultanéité. Si deux groupes de charge ont le statut Simultané (1), Simultané (2) est également disponible automatiquement dans la liste déroulante, et ainsi de suite.

Chef de file (1), (2), ...

Les groupes de charge agissant simultanément comme des actions principales. Les groupes de charge ayant le même statut agissent toujours ensemble, c'est-à-dire qu'ils sont inclus dans les combinaisons automatiques en tant qu'action principale. Il est possible de définir plus d'un groupe principal. Le fait d'avoir deux groupes de charge avec un statut d'action principale (1) rend l'action principale (2) également disponible automatiquement dans la liste déroulante, et ainsi de suite.

AxisVM construit des combinaisons automatiques en interne selon les règles définies dans ce tableau puis trouve la combinaison la plus défavorable comme combinaison critique.
Le tableau des combinaisons de charges personnalisées permet de générer ces combinaisons automatiques pour vérifier le processus de construction des combinaisons (le nombre total de combinaisons peut être énorme en fonction du nombre de groupes de charges) mais la génération des combinaisons réelles n'est pas nécessaire pour obtenir les forces critiques.

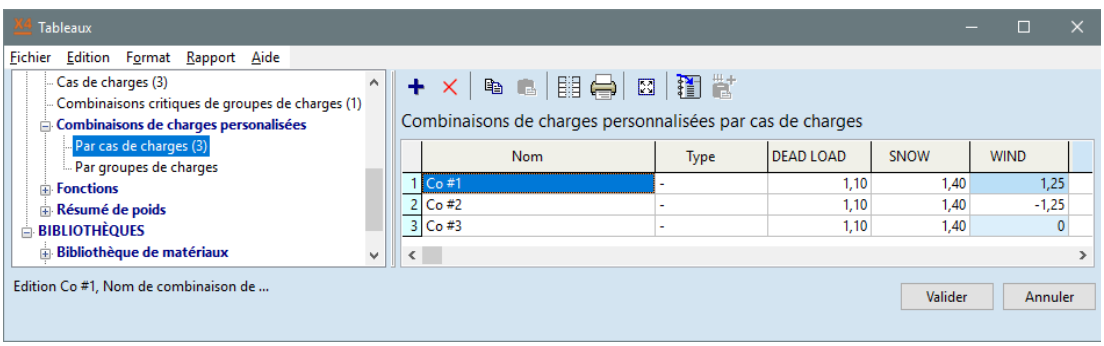
Types de chargement

Les charges suivantes peuvent être appliquées aux éléments :

Charger	*Élément*
Ponctuelle	Nœud, poutre
Linéaire (répartie)	Poutre, nervure, plaque, membrane, coque
Bordure (répartie)	Plaque, membrane, coquille
Poids Propre	Ferme, poutre, nervure, plaque, membrane, coque
Température	Ferme, poutre, nervure, plaque, membrane, coque
Défaut de longueur	Ferme, poutre
Traction/Compression	Ferme, poutre,
Déplacement forcé de l'appui	Appui
Fluide	Plaque, coquille
Sismique	Nœud
Ligne d'influence	Ferme, poutre,
Tension	Poutre, nervure
Déménagement	Poutre, nervure, plaque, coquille
Neige	Poutre, nervure, plaque, coquille
Vent	Poutre, nervure, plaque, coquille
Feu	Poutre, nervure, Ferme

4.10.2. Combinaisons de charges





Permet de définir des combinaisons de charge des cas de charge définis. Vous pouvez spécifier un facteur pour chaque cas de charge dans une combinaison de charges.
Les résultats d'une combinaison de charges seront calculés comme une combinaison linéaire des cas de charge en tenant compte des facteurs de cas de charge spécifiés. Un facteur zéro signifie que le cas de charge respectif ne participe pas à la combinaison de charges. Pour trouver la plus défavorable des combinaisons personnalisées définies ici, il faut créer une enveloppe pour les combinaisons.
Les combinaisons de charges peuvent être listées, définies et supprimées par cas de charge ou par groupes de charges (la deuxième option est plus facile à visualiser).
Dans le premier cas, un facteur doit être saisi pour chaque cas de charge.
Dans ce dernier, un facteur doit être saisi pour chaque groupe de charge. Les combinaisons de charge réelles seront créées à l'aide de ces facteurs et en fonction des propriétés du groupe de charge (par exemple, si les cas de charge au sein des groupes de charge sont exclusifs ou non. Voir le chapitre précédent pour plus de détails). La combinaison de groupes de charge avec de nombreux cas de charge peut donner lieu à un très grand nombre de combinaisons de charge individuelles.

☞ **Il n'est pas nécessaire de créer des combinaisons de charge pour déterminer la combinaison critique.**
Si des groupes de charge sont définis et que les cas de charge sont placés dans des groupes de charge, le programme trouve automatiquement la combinaison critique dans chaque nœud de la structure sans créer réellement les combinaisons.



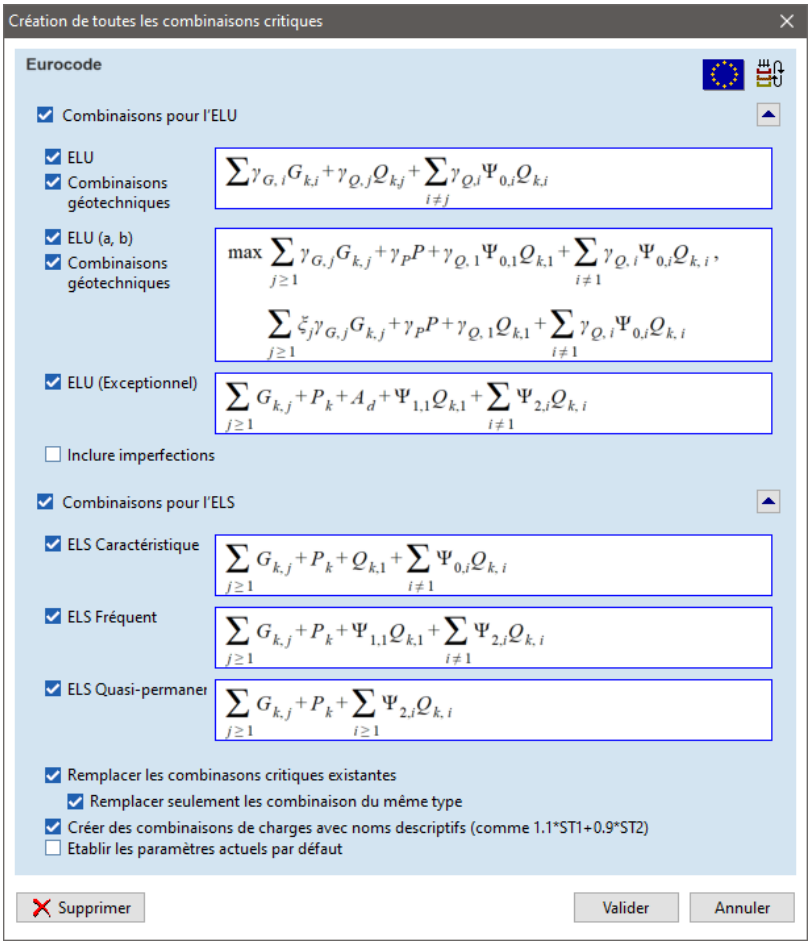
Ajouter ce tableau au rapport en cours



Insérer des combinaisons critiques depuis le presse-papier
Lors de la recherche de valeurs minimales et maximales ou de l'affichage des résultats pour un élément individuel, l'utilisateur peut ajouter la combinaison critique réelle à une liste stockée dans le Presse-papiers (voir... *6.1.1. Valeurs minimales et maximales*). C'est l'icône qui permet de coller ces combinaisons dans le tableau.



Recherche des combinaisons critiques. Calcule toutes les combinaisons critiques en fonction des groupes de charge et les transfère dans le tableau des combinaisons de charge.



L'option *Inclure imperfections n*'est disponible que si le projet contient un groupe de charge d'imperfection.

Si la case *Remplacer les combinaisons critiques existantes* est cochée, toutes les combinaisons critiques générées précédemment seront supprimées et remplacées par les nouvelles combinaisons. Si la case *Remplacer uniquement les combinaisons du même type* est cochée, seules les combinaisons des types de combinaison ELU/ELS sélectionnés seront remplacées.

La vérification *Créer des combinaisons de charges avec noms descriptifs* modifie la convention d'appellation, de sorte que les noms de combinaison générés seront la description de la combinaison (comme 1.1*ST1+0.9*ST2) au lieu de Co. #1, Co. #2, etc.

☞ **Vous pouvez également définir des combinaisons de charges après avoir effectué une analyse statique linéaire. Le post-processeur calcule les résultats de ces combinaisons de charges lorsque cela est nécessaire**

En cas d'analyse statique non linéaire, AxisVM génère d'abord le cas de combinaison, puis effectue l'analyse (une combinaison de charge à la fois).

Combinaison automatique des charges

Le programme étudie toutes les combinaisons possibles en fonction des paramètres du groupe de charge et des équations du code d'étude actuel.
Les valeurs minimales et maximales des résultats de ces combinaisons sont choisies comme valeurs critiques (d'étude). Les combinaisons critiques pour l'Eurocode, SIA26x, STAS, DIN, code italien sont assemblées selon les schémas suivants :

Combinaisons critiques de forces internes (ELU

ELU1 - Permanente et occasionnelle

Eurocode

AxisVM utilise les formules de combinaison ci-dessous conformément à la norme EN 1990:2005 (6.10.a) et (6.10.b). Ces formules permettent d'obtenir des forces et des déplacements plus faibles, ce qui rend l'étude plus économique.

$$\max \begin{Bmatrix} \sum_{j\geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \Psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i} \\ \sum_{j\geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i} \end{Bmatrix} \begin{matrix} 6.10.a \\ 6.10.b \end{matrix}$$

Dans certains pays (par exemple en Autriche), l'annexe nationale ne permet pas d'utiliser les points (6.10.a) et (6.10.b). Dans ce cas, la formule suivante est utilisée :

Eurocode(A), DIN, SIA26x, code italien

$$\sum_{j\geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Facteurs partiels pour la vérification des états limites géotechniques (GEO)

En cas de combinaisons géotechniques, le programme utilise également les formules ci-dessus. Les facteurs partiels pour les actions sont sélectionnés dans les groupes de valeurs A1 et A2, qui sont classés selon l'annexe A de la norme EN 1997-1.

Action		**Symbole**	**Ensemble**	
			A1	**A2**
Permanent	Défavorable	γ_G	1,35	1,0
	Favorable		1,0	1,0
Variable	Défavorable	γ_Q	1,5	1,3
	Favorable		0	0

Remarque: les valeurs peuvent être spécifiées différemment par l'annexe nationale. Les spécifications de l'AN sélectionnée sont prises en compte.

Facteurs partiels pour la vérification de l'état limite d'équilibre (EQU)

En cas de vérification de l'équilibre statique, les facteurs partiels suivants sont pris en compte (annexe A de la norme EN 1997-1):

Action		Symbole	Valeur
Permanent	Défavorable (déstabilisant)	$\gamma_{G;dst}$	1,1
	Favorable (stabilisant)	$\gamma_{G;stb}$	0,9
Variable	Défavorable (déstabilisant)	$\gamma_{Q;dst}$	1,5
	Favorable (stabilisant)	$\gamma_{Q;stb}$	0

ELU 2 - Sismique

Eurocode, SIA26x

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} + P_k + A_{Ed} + \sum_{i\geq 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Code italien

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} + P + E + \sum_{i\geq 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

DIN

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} + A_{Ed} + \sum_{i\geq 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

ELU 3 - Exceptionnel

Eurocode et autres codes

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} + P_k + A_d + \Psi_{1,1} Q_{k,1} \sum_{i\neq 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

SIA26x

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} + P_k + A_d + \Psi_{2,1} Q_{k,1} \sum_{i\neq 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Combinaisons critiques de déplacements (ELS)

ELS 1 - Caractéristique

Eurocode et autres codes

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} + P_k + Q_{k,1} + \sum_{i\neq 1} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

ELS 2 - Fréquente

Eurocode et autres codes

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} + P_k + \Psi_{1,1} Q_{k,1} \sum_{i\neq 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

ELS 3 - Quasi permanent

Eurocode et autres codes

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} + P_k + \sum_{i\geq 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

STAS, Eurocode(RO)

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} + 0.6\gamma_I A_{Ek} + \sum_{i\geq 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

La méthode de combinaison des charges critiques pour les forces internes et pour les déplacements est sélectionnée automatiquement. La méthode de combinaison des charges critiques pour les déplacements dépend du type de structure que vous modélisez. Cliquez sur *Paramètres d'affichage des résultats dans* la barre d'outils *Statique* pour définir la formule de combinaison critique.

Charges sismiques : voir ci-dessus à la rubrique Forces internes.

Code italien

Combinaison de charges sismiques avec d'autres types de charges : $\sum G_K \gamma_I \cdot E + \sum \Psi_{ji} Q_{Ki}$

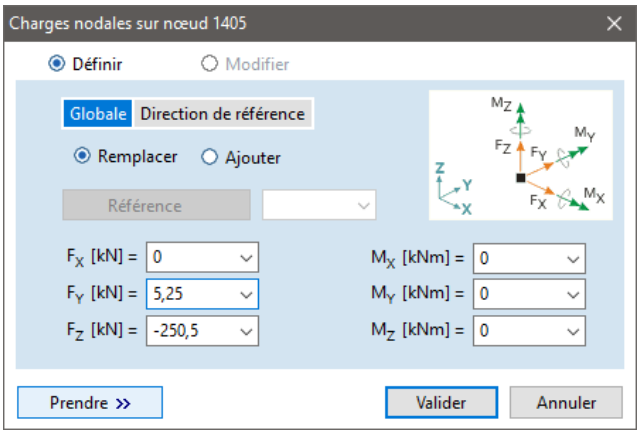
Où:

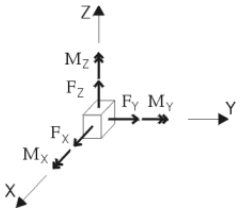
γ_I	Facteur d'importance
E	Charges sismiques
G_K	Valeur caractéristique des charges permanentes
Q_{Ki}	Valeur caractéristique des charges variables
Ψ_{ji}	Ψ_{2i}(ELU) facteur de combinaison pour les quasi permanents Q_i
Ψ_{0i}	(DLS) pour les produits rares. Q_i

4.10.3. Charge nodale



Cette commande vous permet d'appliquer des Forces / moments aux nœuds sélectionnés. Vous devez spécifier les valeurs des composantes de la charge *(FX, FY, FZ, MX, MY, MZ)* dans le système de coordonnées global. Pour une charge de référence (où la direction est donnée par la référence), entrez une composante *Fx* et une composante *Mx*.
Si vous appliquez une charge nodale à un nœud qui est déjà chargé, vous pouvez l'écraser ou l'ajouter à la charge existante.





Les directions positives correspondent aux directions positives des axes de coordonnées globales.

Modifier les chargements nodaux

Vous pouvez sélectionner, déplacer, copier ou modifier la charge indépendamment du nœud.

Modifier la position

1. Sélectionnez les charges que vous souhaitez déplacer ensemble.
2. Saisissez l'une d'entre elles en appuyant sur le bouton gauche de la souris.
3. Déplacez-les vers leur nouvelle position.
4. Cliquez sur le bouton gauche de la souris ou utilisez un bouton de commande. (Entrée ou Espace).

Modifier la valeur

1. Sélectionnez le chargement.
2. Cliquez sur l'icône "*Charge nodale*" *de la* barre d'outils.
3. Changer les valeurs

Les charges nodales peuvent être déplacées sur une poutre, une nervure ou un domaine.
Les signes des valeurs de charge sont calculés selon la règle de la main droite.

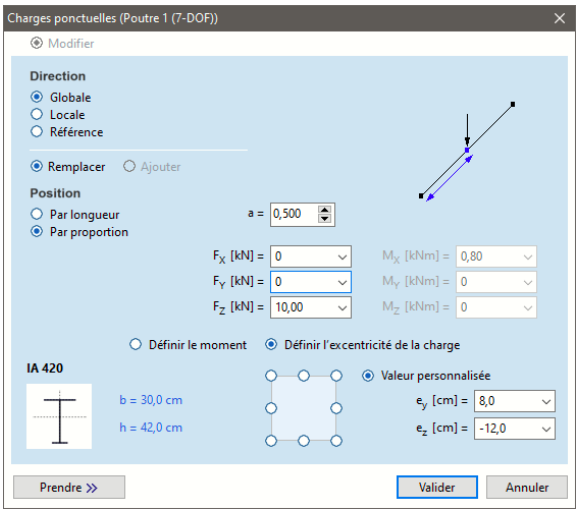
☞ **Les composantes de charge appliquées dans le sens d'un degré de liberté restreint ne seront pas prises en compte dans l'analyse.**

Les forces sont affichées à l'écran sous forme de flèches jaunes, les moments sous forme de doubles flèches vertes.

4.10.4. Charge ponctuelle sur la poutre



Cette commande vous permet d'appliquer des forces / moments concentrés sur les éléments de la poutre ou des nervures sélectionnés. Vous devez spécifier les valeurs des composantes de la charge *(Fx, Fy, Fz, Mx, My, Mz)* dans le système de coordonnées local ou global. Pour une charge de référence (où la direction est donnée par la référence), entrez une composante *Fx* et une composante *Mx*.
La référence peut être sélectionnée dans la liste ou reprise dans la vue (si l'affichage des références est activé)



Voir... *2.16.18 Options d'affichage* en cliquant sur le bouton *Référence>>*.

Au lieu de définir des composantes de moment, il est également possible de définir l'excentricité e_y et e_z de la charge dans le système de coordonnées local.

Choisissez Définir l'excentricité de la charge, puis cliquez sur un bouton radio représentant un point du rectangle de délimitation de la section transversale ou saisissez des valeurs personnalisées

Si vous appliquez une charge ponctuelle à un nœud qui est déjà chargé, vous pouvez l'écraser ou l'ajouter à la charge existante.
Les charges ponctuelles peuvent être sélectionnées, déplacées, copiées, modifiées indépendamment de la poutre. Modifier les valeurs des charges comme dans le cas de charges nodales

Les directions positives sont en accord avec les directions positives des axes de coordonnées locales ou globales.

☞ **Si seule une partie de l'élément de structure est sélectionnée (c'est-à-dire certains éléments finis), les charges seront interprétées dans le système local d'éléments finis. Dans ce cas, la même charge sera appliquée à tous les éléments finis sélectionnés.**

Les forces sont affichées à l'écran sous forme de flèches jaunes, les moments sous forme de doubles flèches vertes.

Interprétation des charges des éléments excentriques

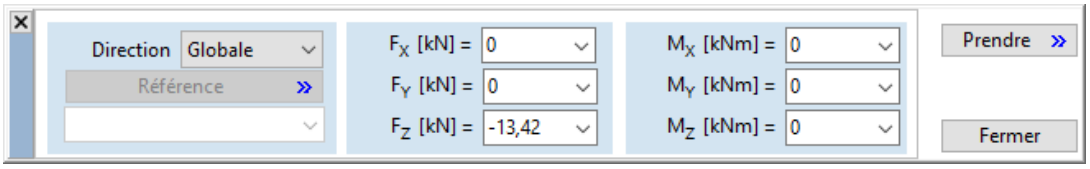
Dans le cas de poutres ou de nervures excentriques, l'axe réel de l'élément n'est pas le même que la ligne reliant les nœuds d'extrémité. L'excentricité de la charge est relative à l'axe réel (excentrique) de l'élément.

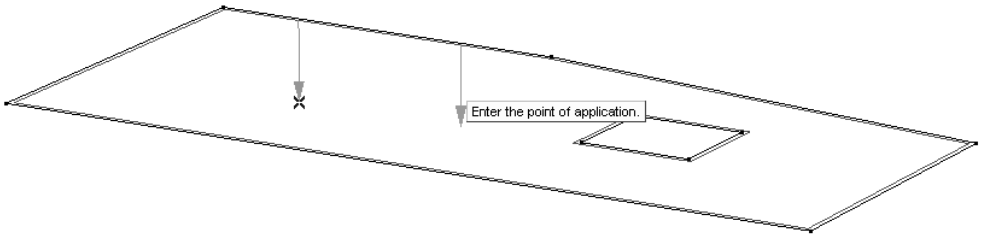
4.10.5. Charge ponctuelle sur le domaine ou le plan de chargement



Applique une charge ponctuelle (concentrée) à l'emplacement du curseur si celui-ci se trouve sur un domaine ou un plan de chargement. Vous pouvez également saisir l'emplacement de la charge par ses coordonnées. Placez les charges en cliquant sur le bouton gauche de la souris ou en appuyant sur l'un des boutons de commande.
Voir... *4.7.2. Saisie numérique des coordonnées*

La direction de la charge peut être:
Global (par rapport au système de coordonnées global)
Local (en ce qui concerne le système de coordonnées locales (éléments))
Référence (par rapport à une référence)





Modifier le point de chargement sur le domaine

Vous pouvez modifier l'emplacement et la valeur (intensité) de la charge:

Modifier la position

1. sélectionnez le chargement à l'aide du curseur (un symbole de chargement apparaît à côté du curseur).
2. maintenez le bouton gauche de la souris enfoncé.
3. Déplacez la souris ou entrez les coordonnées relatives pour déplacer la charge vers un nouvel endroit.
4. Relâchez le bouton gauche de la souris pour placer le chargement dans son nouvel emplacement.

Modifier la valeur

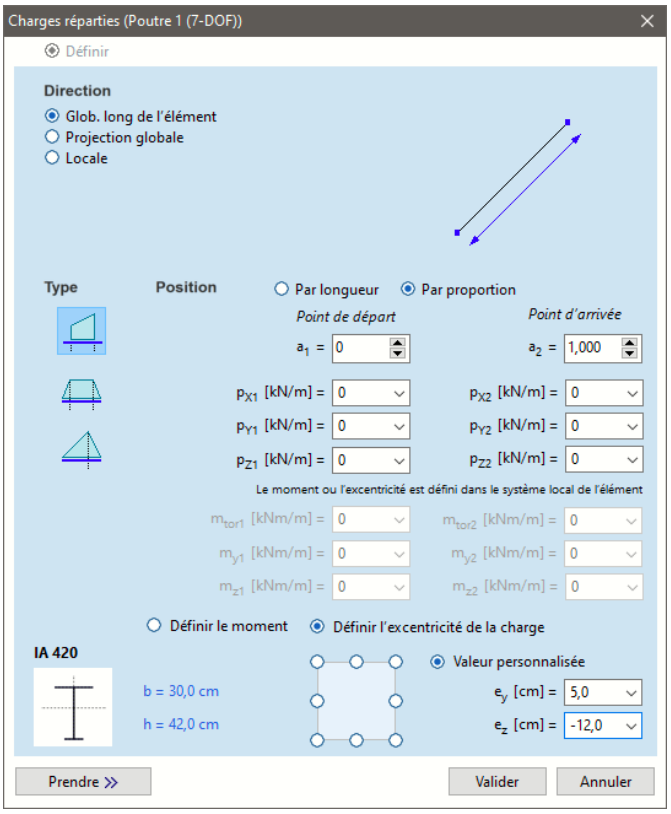
1. sélectionnez le chargement avec le curseur.
2. cliquez sur le bouton gauche de la souris.
3. entrez les nouvelles valeurs de charge dans le dialogue.
   Cliquez sur le bouton *Modifier* pour appliquer les changements et fermer la fenêtre.

La valeur de la charge peut également être modifiée dans le navigateur de tableaux.

☞ **La modification du maillage des domaines laisse les charges ponctuelles (appliquées sur les domaines) inchangées.**

4.10.6. Charge linéaire répartie sur la poutre / la nervure





Cette commande vous permet d'appliquer des forces et des moments constants ou linéairement répartis aux éléments de la poutre ou des nervures sélectionnés. Vous pouvez appliquer plusieurs charges réparties à une poutre/nervure dans le même cas de charge.

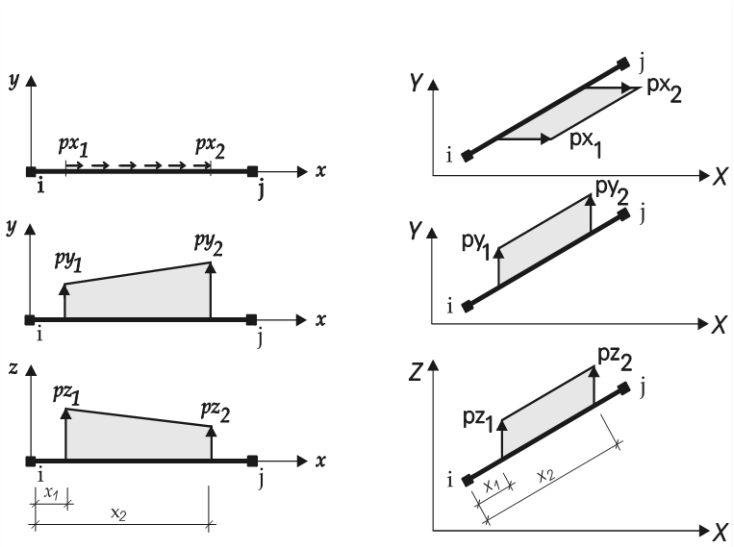
Au lieu de définir les composantes du moment, il est également possible de définir l'excentricité e_y et e_z de la charge dans le système de coordonnées local. *Choisissez Définir l'excentricité de la charge*, puis cliquez sur un bouton radio représentant un point du rectangle de délimitation de la section transversale ou saisissez des valeurs personnalisées.
Le moment et l'excentricité sont toujours définis dans le système local de l'élément, même si le paramètre *Direction* des composants de la force est défini sur *Global*.

Les charges linéaires peuvent être sélectionnées, déplacées, copiées, modifiées indépendamment de la poutre ou de la nervure. Modifiez les valeurs de charge comme dans le cas de charges nodales. Si vous appliquez une charge concentrée à la même position qui est déjà chargée, vous pouvez l'écraser ou l'ajouter à la charge existante.

☞ **Si seule une partie de l'élément de structure est sélectionnée (c'est-à-dire certains éléments finis), les charges seront interprétées dans le système local d'éléments finis. Dans ce cas, la même charge sera appliquée à tous les éléments finis sélectionnés.**

Vous devez spécifier la distribution, l'emplacement et les valeurs des composantes de la charge dans le système de coordonnées local ou global comme suit:

Charges dans le système de coordonnées locales *Charges dans le système de coordonnées global*



Vous devez spécifier les paramètres suivants:

Type		*Segment*		*Trapézoïdal*	*Triangle*
Position	*Par longueur :* entre *d1* et *d2* [m], *Par rapport:* entre *a1* et *a2*				
Lieu de départ	*d1*[m] ou *a1* dans le système de coordonnées local				
Valeur de départ	Forces *px1, py1, pz1* [kN/m], couple *mTOR1* [kNm/m]				
Emplacement final	*d2*[m] ou *a2* dans le système de coordonnées local				
Valeur finale	Forces *px2, py2, pz2* [kN/m], couple *mTOR2* [kNm/m]				

Par rapport : 0 *x1 x2* 1, *Par longueur:* 0 *x1 x2 L*, où *L* [m] est la longueur de l'élément

Si la charge est projective, la valeur de la charge qui est appliquée à la poutre/nervure est *p*sin* α, où *α est* l'angle de la direction de la charge et de l'axe de la poutre/nervure.

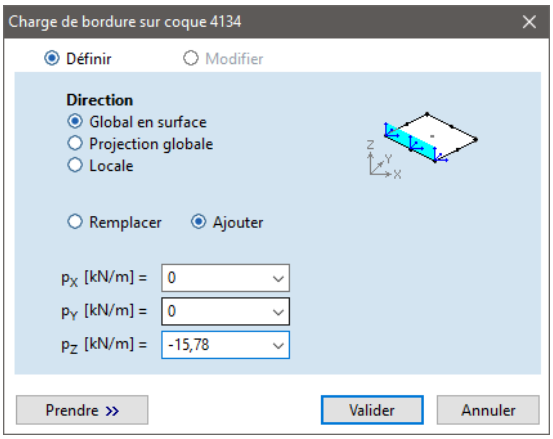
Interprétation des charges des éléments excentriques

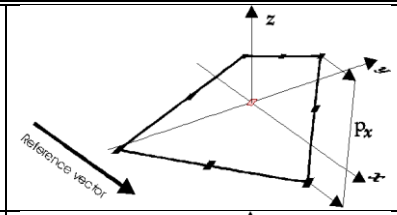
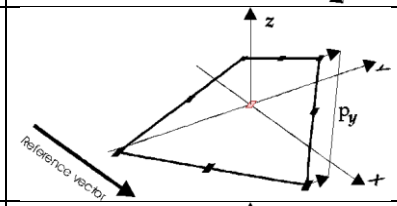
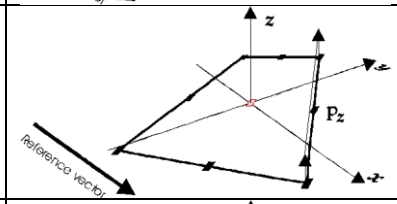
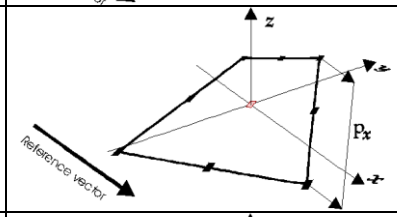
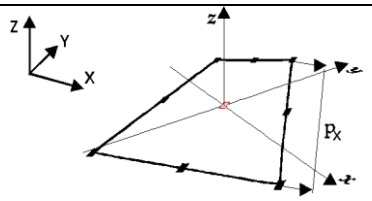
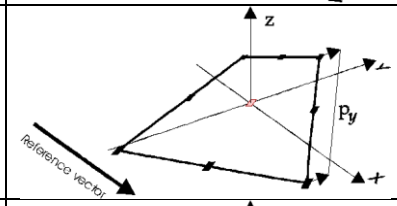
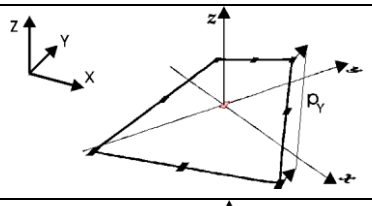
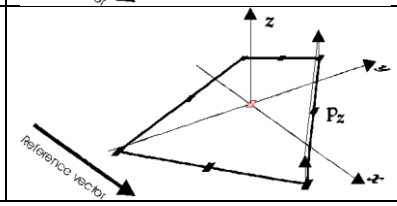
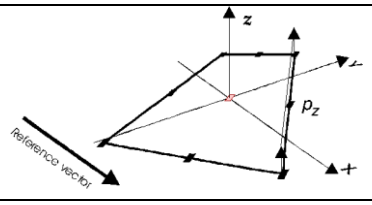
Dans le cas de poutres ou de nervures excentriques, l'axe réel de l'élément n'est pas le même que la ligne reliant les nœuds d'extrémité. L'excentricité de la charge est relative à l'axe réel (excentrique) de l'élément.

4.10.7. Charge de bordure



Permet d'appliquer des charges réparties (constantes) sur les bords sélectionnés des éléments surfacique sélectionnés.
Si plus de deux éléments finis sont reliés au bord ou s'ils ont des systèmes de coordonnées locales différents, vous devez sélectionner à la fois le bord et l'élément fini lorsque vous spécifiez la charge locale. La charge sera définie dans le système local de l'élément sélectionné.



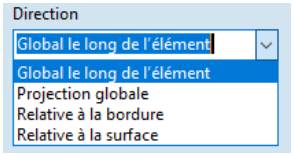
Élément	*Charge dans les directions locales (dans le système de coordonnées locales)*		*Charge dans les directions globales (dans le système de coordonnées globales)*	
Membrane	*x*		-	-
	y		-	-
Plaque	*z*		-	-
Coque	*x*		*X*	
	y		*Y*	
	z		*Z*	

Dans le cas des éléments d'enveloppe, la charge appliquée dans les directions des coordonnées globales peut avoir une distribution projective. Si la charge *p est* projective, la valeur de la charge appliquée à l'enveloppe est $p \cos \alpha$, où α est l'angle de la direction de la charge et la normale au plan de l'élément.

4.10.8. Charge linéaire sur domaine

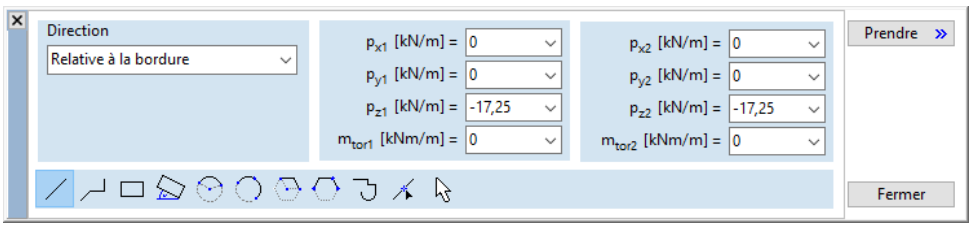


Applique une charge linéaire uniforme ou linéaire répartie sur un domaine ou un plan de chargement.

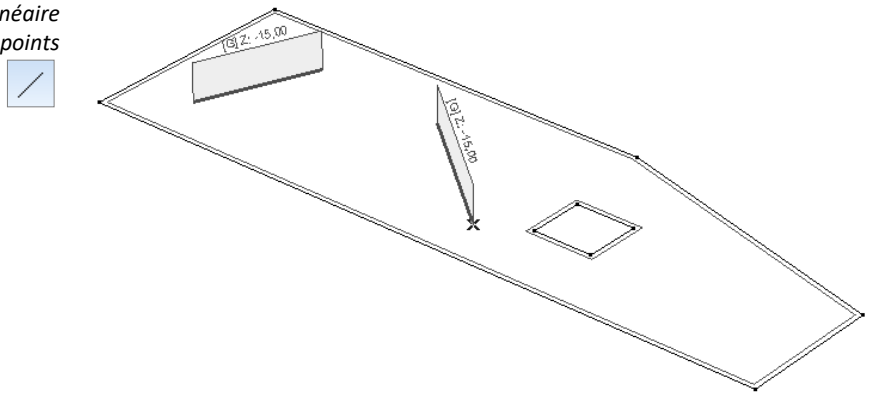


La direction de la charge peut être globale par projection, globale le long de l'élément, relative au bord ou relative à la surface.
m_x est toujours le moment de torsion (autour de la ligne d'application de la charge). Définissez les composantes de la charge et la méthode de placement, puis dessinez la charge (ou cliquez sur les lignes) pour la placer.

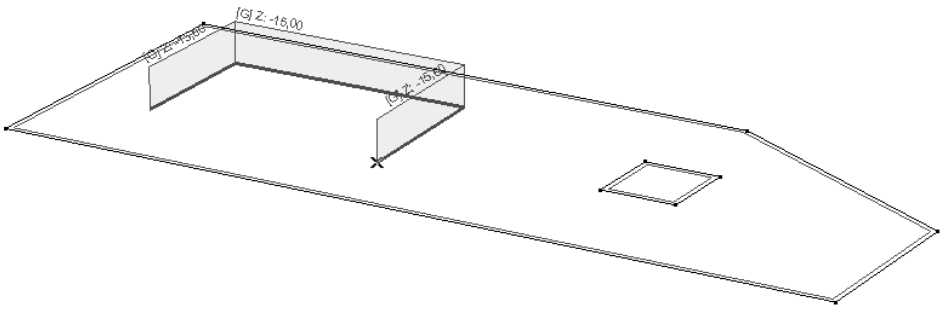
Dans le cas du mode *relative à la bordure*, le système de coordonnées local de la charge linéaire suit la direction de l'arête spécifiée (ligne, arc ou polyligne). L'axe des *x* est toujours l'axe de la ligne spécifiée pointant vers la direction du dessin. L'axe *z* local de la charge est parallèle à l'axe *z* local du domaine. Lorsque vous placez une charge linéaire sur un bord existant du projet, vérifiez toujours la direction de la charge résultante, car la direction de dessin de la ligne sélectionnée ne peut pas être déterminée à partir des numéros de nœuds.
Si la charge linéaire est définie comme étant relative à la surface, alors le système de coordonnées local de la charge (axes x, y et z) suit le système de coordonnées local du domaine



Charge linéaire entre deux points



Charge linéaire le long d'une polyligne





Charge linéaire le long d'un rectangle



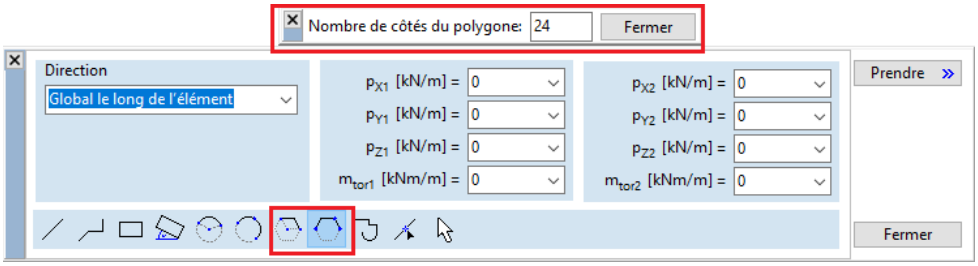
Charge linéaire le long d'un rectangle incliné



Charge linéaire le long d'un arc défini par son point central et deux points



Charge linéaire le long d'un arc défini par trois points





Charge linéaire le long d'un polygone en arc défini par son point central et deux points



Charge linéaire le long d'un polygone en arc défini par trois points



Charge linéaire le long d'un polygone complexe. Les polygones complexes peuvent contenir des arcs.



Lors de la définition d'un polygone complexe, une palette de dialogue rapide apparaît avec plusieurs fonctions géométriques. Celles-ci sont : tracer une ligne, tracer une ligne comme tangente d'un arc, tracer un arc avec un point central, tracer un arc avec un point médian, tracer un arc avec la tangente du segment de polygone précédent, tracer un arc avec une tangente donnée, reprendre une ligne existante.



Charge linéaire répartie sur une ligne ou un arc existant.

Cliquez sur n'importe quelle ligne ou arc à la limite du domaine ou à l'intérieur du domaine pour appliquer la charge précédemment définie. Ce type de charge est associatif.
Le déplacement de la limite ou de la ligne interne déplace également la charge. La suppression de la ligne supprime la charge.



Charge linéaire par sélection.

Similaire à la fonction précédente, mais la charge sera appliquée aux lignes sélectionnées.

Vous pouvez modifier l'emplacement et la valeur (intensité) et tout sommet de la polyligne de charge :

Modifier le lieu

1. sélectionnez le chargement avec le curseur.
2. maintenez le bouton gauche de la souris enfoncé.
   Déplacez la souris ou entrez les coordonnées relatives pour déplacer la charge vers un nouvel endroit.
   Relâchez le bouton gauche de la souris pour placer le chargement dans son nouvel emplacement.

Modifier la forme

1. Déplacez le curseur au-dessus du sommet (un symbole de sommet de polyligne de chargement apparaît à côté du curseur).
2. cliquez sur le bouton gauche de la souris
3. faites glisser le sommet à sa nouvelle position après avoir appuyé sur le bouton gauche de la souris.
4. cliquez sur le bouton gauche de la souris.

Modifier la valeur

1. sélectionnez le chargement à l'aide du curseur (un symbole de chargement apparaît à côté du curseur).
2. cliquez sur le bouton gauche de la souris.
3. entrez de nouvelles valeurs de chargement dans la fenêtre de dialogue.
   Cliquez sur le bouton Modifier pour appliquer les changements et fermer la fenêtre.

La valeur de la charge peut également être modifiée dans le navigateur de tableaux.

Supprimer Sélectionnez les chargements que vous souhaitez supprimer et appuyez sur **Supprimer**.

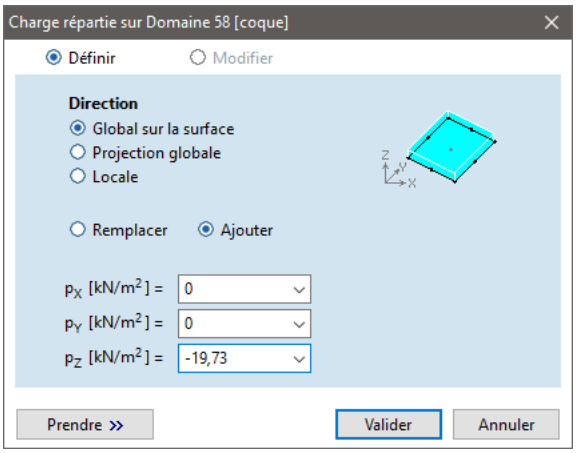
☞ **La modification du maillage des domaines laisse les charges linéaires (appliquées sur les domaines) inchangées.**

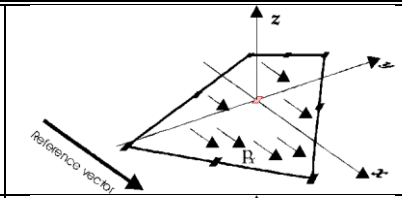
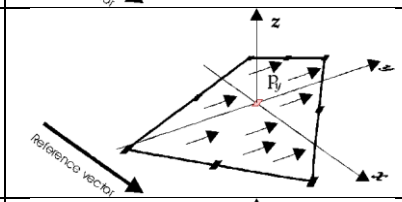
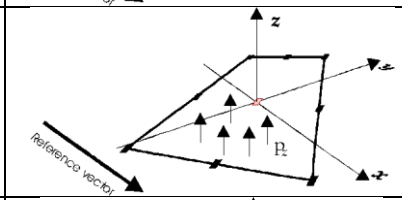
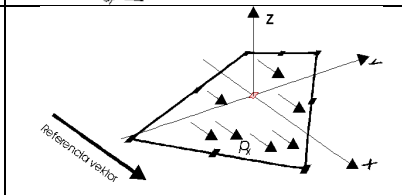
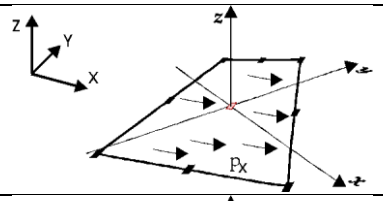
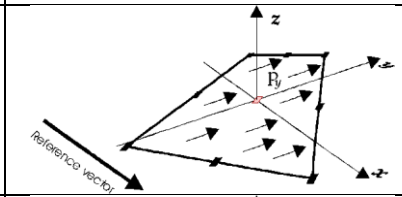
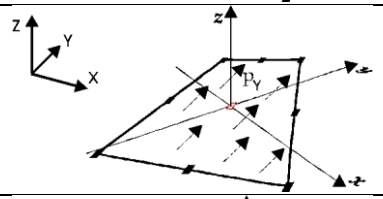
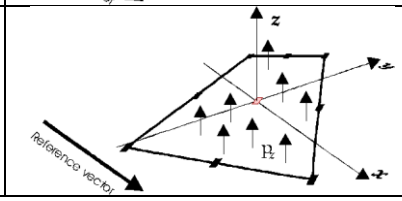
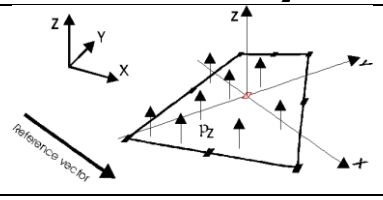
4.10.9. Charge surfacique



La charge surfacique peut être appliquée sur les éléments finis surfaciques, les domaines et les plans de chargement.
L'intensité d'une charge répartie sur un élément surfacique est constante.

☞ **La modification du maillage des domaines laisse les charges (appliquées sur les domaines) inchangées.**



Élément	*Charge dans les directions locales (dans le système de coordonnées locales)*		*Charge dans les directions globales (dans le système de coordonnées globales)*	
Membrane	*x*		-	-
	y		-	-
Plaque	*z*		-	-
Coque	*x*		*X*	
	y		*Y*	
	z		*Z*	

4.10.10. Domaine / Charge surfacique sur le plan de chargement

Applique une charge répartie indépendante du maillage à un domaine ou à un plan de chargement.

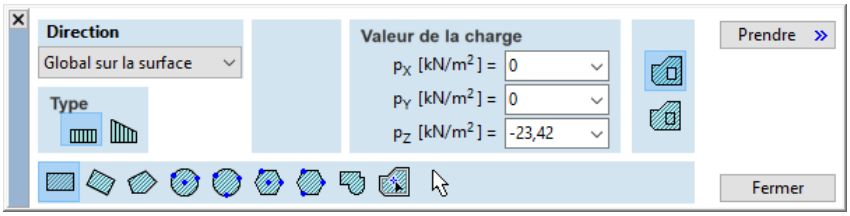
Le type d'élément de domaine détermine le type et la direction de la charge comme suit.
Pour un domaine *membranaire,* la charge doit se trouver dans le plan du domaine. Dans le cas d'un domaine de *plaque,* la charge doit être perpendiculaire au plan du domaine. Dans le cas d'une *coque,* toute direction de charge est acceptable. Les plans de chargements acceptent des charges dans n'importe quelle direction, mais s'ils transfèrent des charges aux domaines de la membrane ou de la plaque, les limitations ci-dessus s'appliquent.
La charge peut être une *charge globale sur la surface,* une charge en *projection globale* ou une charge *locale* et les composantes seront interprétées en conséquence.
Vous pouvez choisir entre des intensités de charge constantes ou linéaires et définir si les charges se répartissent sur les trous ou si elles sont réparties sur le bord du trou.

Les charges disparaissant / autorisées sur les ouvertures

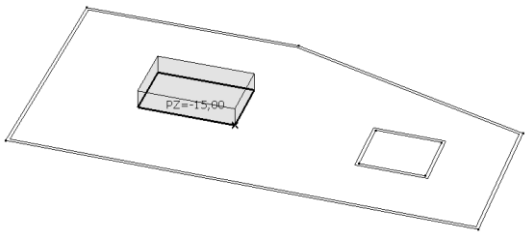
La première icône représente l'option selon laquelle les charges sur les trous ne sont pas appliquées à la structure. La deuxième icône représente l'option selon laquelle les charges sur les trous sont réparties sur le bord du trou.

Charge constante

Étapes de la définition de la charge en cas de charge constante:

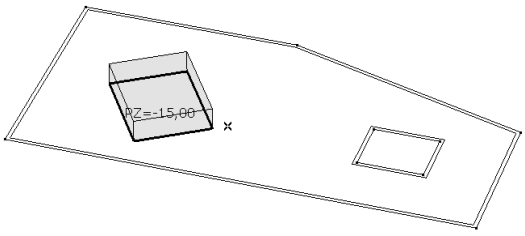


Charge surfacique rectangulaire



1. Entrez les composantes de la charge (*pX, pY, pZ*)
2. Saisissez deux points d'extrémité diagonaux du rectangle en cliquant ou par coordonnées.
(Cette fonction n'est disponible que sur les plans X-Y, Y-Z et X-Z)

Charge surfacique rectangulaire oblique



1. Entrez les composantes de la charge (*pX, pY, pZ*)
2. Entrez les trois coins du rectangle en cliquant ou par coordonnées.
(Cette fonction n'est disponible que sur les plans X-Y, Y-Z et X-Z)

Charge polygonale

1. Entrez les composantes de la charge (*pX, pY, pZ*)
2. Entrez les sommets des polygones en cliquant ou par coordonnées. Dans ce dernier cas, appuyez sur une entrée supplémentaire après avoir spécifié la dernière position. Si vous entrez le polygone en cliquant sur le domaine, fermez le polygone en cliquant à nouveau sur le premier sommet ou en double-cliquant sur le dernier sommet. Au lieu du bouton gauche de la souris, vous pouvez également utiliser la touche Espace ou Entrée pour entrer les sommets du polygone.

Charge circulaire par centre

Charge circulaire par trois points

Charge polygonale régulière par centre

Charge polygonale régulière par trois points

Charge complexe



Lors de la définition d'un polygone complexe, une palette de dialogue rapide apparaît avec plusieurs fonctions géométriques. Celles-ci sont: tracer une *ligne*, tracer une *tangente*, tracer *un arc depuis le centre*, tracer *un arc par 3 points*, tracer un *arc depuis la tangente*, tracer un *arc depuis une tangente définie par l'utilisateur* *Partir d'une ligne existante*.

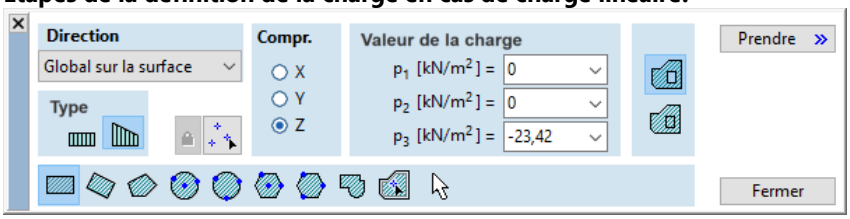
Charge répartie domaine

1. Entrez les composantes de la charge (*pX, pY, pZ*)
2. Cliquez sur le domaine

La charge sera répartie sur le domaine. La forme de ce type de charge suivra automatiquement toute modification de la géométrie du domaine. Dans un cas de charge, vous ne pouvez appliquer qu'une seule charge de ce type sur un domaine. La nouvelle définition de la charge répartie sur le domaine écrase toujours la précédente.

Charge linéaire

Étapes de la définition de la charge en cas de charge linéaire:



Le plan de l'intensité de la charge peut être spécifié par des valeurs d'intensité de la charge (*p1, p2, p3*) en trois points [(1), (2), (3)] dans le plan du domaine. Ces points sont les points de référence de la valeur de la charge. Si vous souhaitez utiliser les mêmes points de référence et valeurs pour plusieurs charges de forme et de position différentes, vous pouvez verrouiller les points de référence et les valeurs en cliquant sur le bouton *Verrouiller*. Les charges sont appliquées en entrant dans un domaine.

Définir les points de référence de la valeur de charge

Points de référence de la valeur de verrouillage/déverrouillage

Charge surfacique rectangulaire

1. Entrez les valeurs de charge aux points de référence (*p1, p2, p3*).
2. Saisissez deux points d'extrémité diagonaux du rectangle en cliquant ou par coordonnées. (Cette fonction n'est disponible que sur les plans X-Y, Y-Z et X-Z)
3. Entrez trois points de référence en cliquant ou par coordonnées.

Charge surfacique rectangulaire oblique

1. Entrez les valeurs de charge aux points de référence (*p1, p2, p3*).
2. Entrez les trois coins du rectangle en cliquant ou par coordonnées.
3. Entrez trois points de référence en cliquant ou par coordonnées.

Charge polygonale

1. Entrez les valeurs de charge aux points de référence (*p1, p2, p3*).
2. Entrez les sommets des polygones en cliquant ou par coordonnées. Dans ce dernier cas, appuyez sur une entrée supplémentaire après avoir spécifié la dernière position. Si vous entrez le polygone en cliquant sur le domaine, fermez le polygone en cliquant à nouveau sur le premier sommet ou en double-cliquant sur le dernier sommet. Au lieu du bouton gauche de la souris, vous pouvez également utiliser la touche Espace ou Entrée pour entrer les sommets du polygone.
3. Entrez trois points de référence en cliquant ou par coordonnées.

Charge circulaire par centre

Charge circulaire par trois points

Charge polygonale régulière par centre



Charge polygonale régulière par trois points



Charge complexe



Lors de la définition d'un polygone complexe, une palette de dialogue rapide apparaît avec plusieurs fonctions géométriques. Celles-ci sont: tracer une *ligne*, tracer une *tangente,* tracer *un arc depuis le centre*, tracer *un arc par 3 points*, tracer un *arc depuis la tangente,* tracer un *arc depuis une tangente définie par l'utilisateur Partir d'une ligne existante.*



Charge répartie sur domaine

1. Entrez les valeurs de charge aux points de référence (p1, p2, p3).
2. Cliquez sur le domaine.
3. Entrez trois points de référence en cliquant ou par coordonnées.

Dans un cas de charge, vous ne pouvez appliquer qu'une seule charge de ce type sur un domaine. La nouvelle définition de la charge d'un domaine réparti écrase toujours la précédente.

Modifier la charge de la zone

La position, la forme et l'intensité d'une charge surfacique indépendante du maillage peuvent être modifiées.

Modifier la position

1. Placez la souris au-dessus du contour de la charge (le curseur identifiera la charge).
2. Appuyez sur le bouton gauche de la souris et déplacez la souris.
3. Trouvez la nouvelle position du chargement en déplaçant la souris ou en utilisant les coordonnées.
4. Lâchez le chargement en cliquant sur le bouton gauche de la souris ou en appuyant sur la touche Espace ou Entrée.

Modifier la forme

1. placer la souris au-dessus d'un sommet du polygone de charge (le curseur identifiera le sommet du polygone de charge comme un coin)
2. Appuyez sur le bouton gauche de la souris et déplacez la souris.
3. Trouvez la nouvelle position du sommet en déplaçant la souris ou par coordonnées.
   Placez le sommet en cliquant sur le bouton gauche de la souris ou en appuyant sur la touche Espace ou Entrée. La forme de la charge change.

Modifier l'intensité

1. placez la souris au-dessus du contour de la charge (le curseur identifiera la charge).
2. Cliquez sur le bouton gauche de la souris. La fenêtre de chargement de la zone apparaît.
3. Modifier les valeurs d'intensité de la charge.
4. Cliquez sur le bouton Modifier pour confirmer les changements.

Plusieurs charges peuvent être sélectionnées et modifiées de cette manière.

L'intensité et la forme de la charge surfacique peuvent également être modifiées dans le navigateur de tableaux en changeant les valeurs appropriées dans le tableau de charge.

Supprimer

Sélectionnez les chargements à supprimer et appuyez sur **[Suppr].**

☞ **Les charges indépendantes des mailles ne sont pas affectées par l'enlèvement des mailles ou la recréation de mailles sur les domaines.**

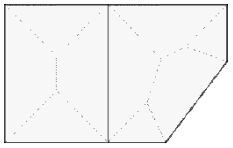
4.10.11. Charge surfacique répartie sur les éléments linéaires



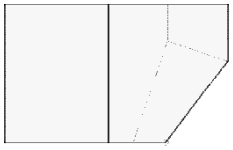
Une charge surfacique homogène peut être placée sur les éléments linéaires (fermes, poutres et nervures).
Les charges sur les fermes seront converties en charges sur les nœuds d'extrémité des fermes.

1. Cliquez sur l'icône et sélectionnez la plage de répartition de la charge dans la boîte de dialogue.

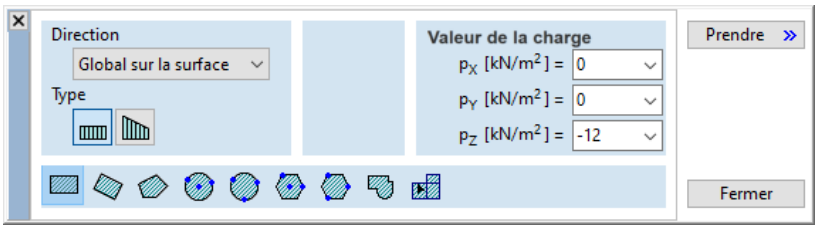
Auto répartit la charge sur les éléments sous la charge. Toute nouvelle ferme, toute nouvelle poutre ou nervure définie sous la charge redistribuera la charge.



Sur les éléments sélectionnés seulement distribue la charge sur les *éléments sélectionnés* uniquement. Sélectionnez les lignes à l'aide de la barre d'outils de sélection. La répartition reste la même si une nouvelle poutre ou une nouvelle nervure est définie sous la charge.

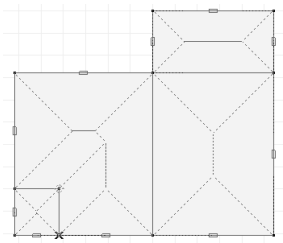


2. Définir le polygone de charge de la même manière que pour une charge surfacique de domaine constante ou changeant linéairement.



La direction de la charge peut être globale sur la surface, globale projective ou locale. Les directions locales sont définies comme des références automatiques pour les domaines Voir... *4.9.22. Références*.

Entrez les valeurs de chargement dans les champs d'édition. (*pX, pY, pZ*)



Le polygone de charge peut être un rectangle, un rectangle oblique ou tout autre polygone fermé. La quatrième méthode sur l'icône barre de tolérance consiste à cliquer sur les lignes d'un polygone fermé en forme de poutre ou de nervure. De cette façon, la charge devient associative. En déplaçant les éléments ou leurs nœuds d'extrémité, on modifie le polygone de charge en conséquence.

L'élément de menu *Édition / Conversion des charges surfacique réparties sur les poutres* convertit *les* charges créées de cette façon en charges de poutres individuelles.

4.10.12. Plan de chargement



Les plans de chargement sont utilisés pour transférer les charges nodales, les charges linéaires et superficielles réparties sur les éléments structuraux. Il est également nécessaire de définir des plans de chargement, si les charges de neige et de vent sont générées automatiquement par le logiciel (module SWG). Ils n'ont aucun rôle structurel, la seule fonction d'un plan de chargement est de répartir les charges sur les domaines, les éléments de poutre et de nervure. Les charges peuvent être distribuées automatiquement à tous les domaines, nervures et poutres qui se trouvent dans le plan du panneau. Il est également possible de spécifier manuellement les éléments porteurs de charge dans ou hors du plan du panneau en contrôlant le transfert de charge. Leur projection sur le plan de chargement doit se situer dans le contour fermé du plan de chargement.



Outils de forme



Rectangles



Rectangles inclinés



Cercle par centre et deux points d'arc



Cercle par trois points d'arc



Polygone régulier par centre et deux points d'arc cercle circonscrit



Polygone régulier par trois points d'arc cercle circonscrit



Polygone complexe

Outils de sélection spéciaux



Domaines entiers avec un plan de chargement



Domaines sélectionnés avec un plan de chargement



Placer des plans de chargements sur des régions planes définies par des lignes sélectionnées. Les contours des plans de chargement sont déterminés à partir des contours des sous-ensembles coplanaires des lignes sélectionnées.

Modes de répartition de la charge



Les charges seront distribuées sur tous les domaines et éléments linéaires (nervures, poutres)dans le cadre du plan de chargement



Les charges seront distribuées sur tous les domaines et les éléments linéaires sélectionnés (nervures, poutres) dans le cadre du plan de chargement.
Les charges sur les plans de chargement peuvent également être réparties sur des nœuds sélectionnés. Les charges peuvent être réparties sur les nœuds et les éléments de poutre ou de nervure hors du plan du plan de chargement si leur projection sur le plan de chargement se trouve dans le contour du plan de chargement. Dans ce cas, les charges sont réparties sur les segments projetés mais agissent dans la position de l'élément.



Les charges seront distribuées uniquement sur les domaines sélectionnés et les éléments linéaires sélectionnés



Les charges seront distribuées sur les domaines et les éléments linéaires des parties actives dans le cadre du plan de chargement

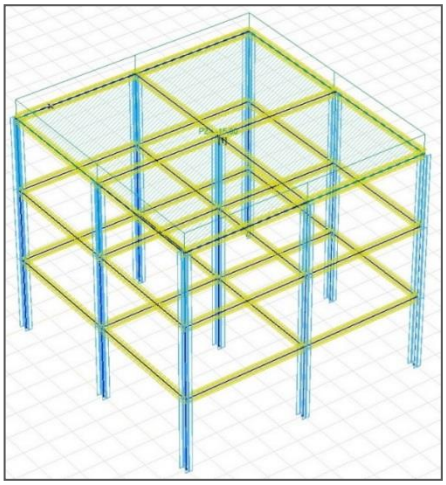
Options de chargement pour les ouvertures

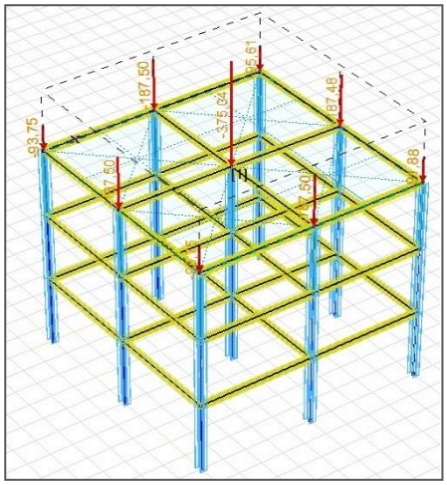


Si la première icône est sélectionnée, le plan de chargement applique des charges sur les ouvertures (en les interprétant comme des fenêtres), sinon il ignore les charges sur les ouvertures (en les interprétant comme des ouvertures réelles).

Les charges des plans de chargement sélectionnés peuvent être converties en charges individuelles.
Voir... *3.2.19 Convertir les charges des plans de chargement sélectionnés en charges individuelles.*

☞ **Les poutres / nervures / domaines sélectionnés peuvent être hors du plan du plan de chargement. Si plusieurs domaines sont sélectionnés et que leurs contours projetés sur le plan du plan de chargement se chevauchent, les charges seront transférées uniquement au domaine le plus proche du plan de chargement.**

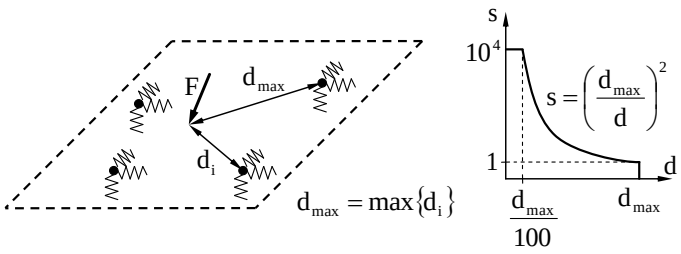




Charges ponctuelles sur les poteaux provenant du transfert d'une charge répartie sur le plan de chargement

Méthode de répartition de la charge

La répartition d'une charge ponctuelle modélise le plan de chargement comme une feuille rigide soutenue par trois ressorts à chaque point de répartition de la charge. Les trois ressorts ont la même rigidité inversement proportionnelle au carré de la distance du point d'action.



Les charges réparties le long des lignes sont converties en une série de charges ponctuelles et les charges ponctuelles sont réparties selon la méthode ci-dessus. Les charges surfaciques sont réparties selon la méthode décrite au point *4.10.11. Charge surfacique répartie sur les éléments linéaires.*

Définir les charges

Les charges ponctuelles, linéaires et surfaciques peuvent être placées sur les plans de chargement de la même manière que sur les domaines. Un exemple :

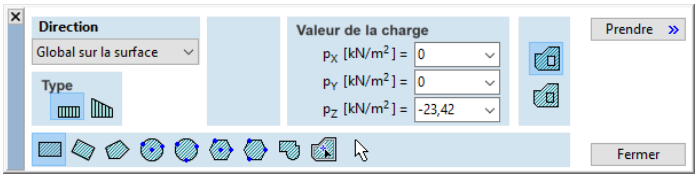


Choisissez l'onglet *Charge* et l'outil *Charge répartie sur domaine*



Entrez les composants de la valeur de la charge et choisissez *Couvrir domaines entiers avec un plan de chargement dans* la palette.

Cliquez sur un nombre quelconque de domaines ou de plans de chargement. La charge leur sera appliquée.



4.10.13. Charge de neige - module SWG

Norme

La charge de neige est générée automatiquement dans le programme selon les règles de plusieurs normes nationales et leurs annexes applicables. Les normes du programme pour lesquelles la génération de la charge de neige est disponible sont énumérées ci-dessous. Les normes d'étude nationales qui ont servi de base de calcul pour la norme donnée dans le programme sont également énumérées.

Eurocode général	*EN 1991-1-3:2003 (EC 1-3)* *Action Eurocode 1 sur les structures* *Partie 1-3 Actions générales - Charges de neige*
CE Allemand	*EN 1991-1-3:2003* *DIN EN 1991-1-3/les Annexes Nationales décembre 2010*
NTC italien	*EN 1991-1-3:2003* *UNI EN 1991-1-3/les Annexes Nationales juillet 2007* *NTC 2018*
CE Néerlandais	*EN 1991-1-3:2003* *NEN EN 1991-1-3/NB Novembre 2007*
CE hongroise	*EN 1991-1-3:2003* *MSZ EN 1991-1-3:2016/les Annexes Nationales septembre 2016*
CE Roumain	*B.A. 1-1-3/2012* *conforme à la norme SR EN 1991-1-3*
CE Tchèque	*EN 1991-1-3:2003* *CSN EN 1991-1-3/les Annexes Nationales juillet 2012*
CE Slovaque	*EN 1991-1-3:2003* *STN EN 1991-1-3/les Annexes Nationales décembre 2004*
CE Polonais	*EN 1991-1-3:2003* *PN EN 1991-1-3/les Annexes Nationales septembre 2005*

CE Danois	*EN 1991-1-3:2003* *DS/EN 1991-1-3 DK les Annexes Nationales octobre 2015*
CE belge	*EC 1991-1-3:2003* *NBN EN 1991-1-3/ANB Octobre 2007*
CE Autriche	*EN 1991-1-3:2003* *ÖNORM B 1991-1-3 septembre 2013*
CE Finnois	*EN 1991-1-3:2003* *SFS-EN 1990-1-3/les Annexes Nationales novembre 2007*
CE Norvégien	*EN 1991-1-3:2003* *NS-EN 1991-1-3/NA 2018*
CE Grec	*EN1991-1-3:2003* *ELOT EN 1991-1-3*
Suisse	*SIA261:2020 Actions sur les structures* *SIA261/1:2003 Spécifications supplémentaires*

Hypothèses Limites d'application

L'applicabilité de l'algorithme dans le programme est limitée par l'applicabilité des spécifications des normes sur lesquelles il est basé. Voici une liste de ces limitations pour chaque norme du programme.

Eurocode général

- L'algorithme génère des charges de neige sur les toits des bâtiments. Il n'est pas recommandé de générer des charges de neige sur d'autres types de structures, comme les ponts.
- L'algorithme est applicable à diverses géométries de toit. Il prend en compte l'effet des faîtages et des creux sur l'accumulation de neige lors du calcul de l'effet de la neige sur les panneaux de toiture adjacents au faîtage ou au creux. Il ne prend pas en compte l'effet de l'accumulation locale de neige sur des panneaux de toiture éloignés (c'est-à-dire non adjacents), c'est pourquoi il n'est pas recommandé pour les géométries de toiture complexes où cet effet devrait avoir une influence significative sur la charge de neige caractéristique. Il convient de noter que la directive CE 1-3 ne précise pas non plus le calcul de la charge de neige pour ces derniers cas.
- L'altitude du bâtiment doit être inférieure à 1500 m.
- L'impact de la neige lorsque celle-ci tombe d'un toit plus élevé n'est pas pris en compte ; la charge de neige est toujours classée comme une action statique.
- Le chargement de glace n'est pas pris en compte.
- Le chargement latéral de la neige n'est pas pris en compte.
- Les chutes de neige exceptionnelles au sens de l'annexe B ne sont pas prises en compte.
- Les charges de neige exceptionnelles ne sont pas prises en compte.
- On suppose que le glissement de la neige du toit n'est pas empêché.
- L'accumulation locale de neige à proximité des grands travaux de construction et les petites projections sur le toit sont prises en compte.
- La neige qui dépasse le bord du toit est prise en compte.
- La charge de neige sur les pare-neiges n'est pas prise en compte.
- Le programme peut générer une charge de neige correspondant à n'importe quelle période de retour arbitraire.

CE Allemand

- Comme le calcul est basé sur l'Eurocode général, les limites qui y sont présentées s'appliquent également à cette norme avec les extensions/modifications énumérées ci-dessous.
- La méthodologie décrite au point 5.3.4 pour les toits à travées multiples n'est pas appliquée, car elle conduit à une génération de charge ambiguë dans les cas 3D.
- La charge de neige exceptionnelle avec la même répartition est prise en compte

NTC italien

- Comme le calcul est basé sur l'Eurocode général, les limites qui y sont présentées s'appliquent également à cette norme.



CE Néerlandais

- Comme le calcul est basé sur l'Eurocode général, les limites qui y sont présentées s'appliquent également à cette norme avec les extensions/modifications énumérées ci-dessous.
- Aucune altitude supérieure à 1500 m ne peut être trouvée aux Pays-Bas, donc la limite d'altitude n'est pas applicable.



CE hongroise

- Comme le calcul est basé sur l'Eurocode général, les limites qui y sont présentées s'appliquent également à cette norme.



CE belge

- Comme le calcul est basé sur l'Eurocode général, les limites qui y sont présentées s'appliquent également à cette norme avec les extensions/modifications énumérées ci-dessous.
- Aucune altitude supérieure à 1500 m ne peut être trouvée en Belgique, donc la limite d'altitude n'est pas applicable.



CE Roumain

- Comme le calcul est basé sur l'Eurocode général, les limites qui y sont présentées s'appliquent également à cette norme.



CE Tchèque

- Comme le calcul est basé sur l'Eurocode général, les limites qui y sont présentées s'appliquent également à cette norme.



CE Slovaque

- Comme le calcul est basé sur l'Eurocode général, les limites qui y sont présentées s'appliquent également à cette norme.
- La charge de neige exceptionnelle avec la même répartition est prise en compte.



CE Polonais

- Comme le calcul est basé sur l'Eurocode général, les limites qui y sont présentées s'appliquent également à cette norme.



CE Danois

- Comme le calcul est basé sur l'Eurocode général, les limites qui y sont présentées s'appliquent également à cette norme.



CE Autriche

- Comme le calcul est basé sur l'Eurocode général, les limites qui y sont présentées s'appliquent également à cette norme avec les extensions/modifications énumérées ci-dessous.
- L'algorithme ne fournit des résultats fiables que pour les altitudes inférieures à 1500 m.
  Pour les altitudes plus élevées, la charge de neige est calculée conformément au point 5.1 de l'EC 1-3 les Annexes Nationales.
- L'effet des panneaux solaires selon l'annexe B de la CE 1-3 les Annexes Nationales n'est pas pris en compte.
- La zone d'influence de la charge de neige est supposée être supérieure à 10 ^{m2}. Pour les éléments structuraux affectés par la neige provenant de zones plus petites, voir 9.2.1.1 dans EC 1-3 les Annexes Nationales et utiliser une valeur accrue de $_{sk\ pour}$ l'analyse.
- La surface totale du toit est supposée être inférieure à 2000 ^{m2}. Pour des surfaces de toit plus importantes, voir 9.2.1.2 dans EC 1-3 les Annexes Nationales et appliquer une augmentation appropriée de $_{sk\ pour}$ l'analyse.
- L'effet des avant-toits courts (h < 0,5 m) selon le point 9.2.1.3 dans EC 1-3 les Annexes Nationales n'est pas pris en compte automatiquement. Cet effet peut être pris en compte par un projet étendu de manière appropriée qui inclut la surface du sol autour du bâtiment comme une extension du toit.
- L'effet des tombes (conformément au point 9.2.5.4 dans EC 1-3 les Annexes Nationales) n'est pas pris en compte.



CE Finnois

- Comme le calcul est basé sur l'Eurocode général, les limites qui y sont présentées s'appliquent également à cette norme.



CE Norvégien

- Le calcul étant basé sur l'Eurocode général, les limites qui y sont présentées s'appliquent également à cette norme.
- La valeur caractéristique de la charge de neige est calculée selon la norme NA 4.1 même pour des altitudes supérieures à 1500 mètres.
- La charge de neige exceptionnelle n'est pas prise en compte.



CE Grec

- Le calcul étant basé sur l'Eurocode général, les limites qui y sont présentées s'appliquent également à cette norme.
- La valeur caractéristique de la charge de neige est calculée selon NA 4.1.



Suisse

- L'algorithme génère des charges de neige sur les toits des bâtiments. Il n'est pas recommandé de générer des charges de neige sur d'autres types de structures, comme les ponts.
- L'algorithme est applicable à diverses géométries de toit. Il prend en compte l'effet des faîtages et des creux sur l'accumulation de neige lors du calcul de l'effet de la neige sur les panneaux de toiture adjacents au faîtage ou au creux. Il ne prend pas en compte l'effet de l'accumulation locale de neige sur des panneaux de toiture éloignés (c'est-à-dire non adjacents), c'est pourquoi il n'est pas recommandé pour les géométries de toiture complexes où cet effet devrait avoir une influence significative sur la charge de neige caractéristique. Il est à noter que la norme SIA261 ne spécifie pas non plus le calcul de la charge de neige pour ces derniers cas.
- L'altitude du bâtiment doit être inférieure à 2000 m.
- Les charges de neige exceptionnelles ne sont pas prises en compte.
- On suppose que le glissement de la neige du toit n'est pas empêché.
- L'accumulation locale de neige à proximité des grands travaux de construction et les petites projections sur le toit sont prises en compte.
- La neige qui dépasse le bord du toit est prise en compte.
- Le logiciel peut prendre en compte l'effet des pare-neiges
- En fonction des paramètres, le programme calcule les charges de neige accrues des grandes toitures à faible pente. Si l'option Basé sur la taille maximale est sélectionnée, la taille de référence doit être donnée par l'utilisateur. Dans ce cas, la charge de neige accrue est considérée sur chaque plan de chargement. Si l'option Par plan de chargement contigus est sélectionnée, le logiciel analyse la taille et la géométrie des groupes de plans de chargement. L'augmentation de la charge de neige est prise en compte séparément en fonction de la géométrie des groupes des plans de chargement. Cette option ne fonctionne que pour les groupes de charges de forme rectangulaire ou circulaire.

Détails du calcul

La logique du calcul de la charge de neige est expliquée ci-dessous pour chaque norme du programme



Eurocode General

- Les valeurs recommandées sont supposées pour tous les coefficients, sauf indication contraire de l'utilisateur. Aucune des recommandations figurant dans les annexes nationales n'est supposée.
- Les facteurs pour la valeur de combinaison, la valeur fréquente et la valeur quasi-permanente de la charge de neige sont pris en compte selon le tableau 4.1 de la CE 1-3.
- La valeur caractéristique de la charge de neige sur le sol est spécifiée par l'utilisateur.
- La charge de neige sur le toit est calculée en utilisant l'équation (5.1) de l'EC 1-3.
- Le coefficient d'exposition est basé sur la topographie choisie par l'utilisateur. Les valeurs de Ce qui correspondent à chaque type de topographie sont tirées du tableau 5.1 de la CE 1-3.
- Le coefficient thermique est pris par défaut à 1,0 et doit être modifié par l'utilisateur si l'application d'une valeur différente est justifiée.
- Le coefficient de forme de la charge de neige pour les toits composés de panneaux plans est calculé conformément aux sections transversales 5.3.1 - 5.3.4 de la norme CE 1-3.
- Les coefficients de forme de la charge de neige pour le cas de charge non dérivée sont basés sur μ1 dans le tableau 5.2 de EC 1-3. Chaque panneau a sa propre valeur μ1 qui est calculée en utilisant la pente du panneau.
- Les coefficients de forme de la charge de neige pour le cas de charge dérivée sont basés sur μ2 dans le tableau 5.2. μ2 Les coefficients pour les creux sont calculés selon la figure 5.4 dans EC 1-3 en utilisant les pentes des panneaux de toit de raccordement dans la direction du vent du cas de charge de neige dérivée donné. (par ex: Un creux horizontal dans la direction X n'entraîne aucune accumulation de neige lorsque le vent souffle dans la direction X car les pentes des panneaux de toit

de raccordement dans la direction X sont de 0°). Lorsqu'il n'y a pas de creux sur un toit, les dispositions de charge dérivée de la figure 5.3 de l'EC 1-3 sont prises en compte. L'intensité réduite de la neige est toujours supposée sur le côté balayé par le vent du toit.

- Les coefficients de forme de la charge de neige pour les toits cylindriques sont calculés conformément au point 5.3.5. de la norme EC 1-3. Afin d'obtenir une précision suffisante dans la forme de la charge, il est recommandé d'approximer le toit cylindrique avec au moins 20 segments plans.
- L'effet des travaux de construction plus élevés et des obstructions sur le toit est pris en compte conformément aux points 5.3.6 et 6.2 de la directive CE 1-3. Leur influence n'est prise en compte que dans les cas de charge dérivée. La neige n'est supposée dériver que si le mur ou l'obstacle n'est pas parallèle à la direction du vent.
- La charge de neige dépassant le bord du toit est considérée comme étant conforme au point 6.3 de la norme CE 1-3.
- La charge de neige correspondant à une période de retour définie par l'utilisateur est calculée en utilisant la procédure de l'annexe D de la CE 1-3.



CE Allemand

- Le calcul étant basé sur l'Eurocode général, la procédure présentée ici est appliquée pour cette norme, avec les modifications/extensions énumérées ci-dessous
- La valeur caractéristique de la charge de neige au sol est automatiquement calculée sur la base de 4.1 dans EC 1-3 les Annexes Nationales en utilisant la zone et l'altitude spécifiées par l'utilisateur.
- Une charge de neige exceptionnelle est générée. Le coefficient de charge de neige exceptionnelle est supposé être de 2,0 par défaut, mais il doit être écrasé par la valeur appropriée par l'utilisateur pour l'Allemagne du Nord selon 4,3 dans EC 1-3 les Annexes Nationales.
- L'effet des travaux de construction plus élevés est calculé conformément au point 5.3.6 de la directive CE 1-3 les Annexes Nationales.



NTC italien

- Comme le calcul est basé sur l'Eurocode général, la procédure présentée ici est appliquée pour cette norme ainsi qu'avec les modifications/extensions énumérées ci-dessous.
- La valeur caractéristique de la charge de neige au sol est automatiquement calculée sur la base de 4.1 dans EC 1-3 les Annexes Nationales en utilisant la zone et l'altitude spécifiées par l'utilisateur.
- La valeur du coefficient d'exposition est basée sur 5.2 (7) dans EC 1-3 les Annexes Nationales.



CE Néerlandais

- Comme le calcul est basé sur l'Eurocode général, la procédure présentée ici est appliquée pour cette norme ainsi qu'avec les modifications/extensions énumérées ci-dessous.
- La valeur caractéristique de la charge de neige sur le sol est de 0,7 kN/m2 selon 4.1 (1) dans EC 1-3 les Annexes Nationales.
- Les facteurs pour la valeur de combinaison, la valeur fréquente et la valeur quasi-permanente de la charge de neige sont pris comme 0, 0,2 et 0, respectivement selon 4.2 (1) dans EC 1-3 les Annexes Nationales.



CE belge

- Comme le calcul est basé sur l'Eurocode général, la procédure présentée ici est appliquée pour cette norme ainsi qu'avec les modifications/extensions énumérées ci-dessous.
- La valeur caractéristique de la charge de neige au sol est automatiquement calculée sur la base de 4.1 (1) dans EC 1-3 les Annexes Nationales en fonction de l'altitude spécifiée par l'utilisateur.
- Les facteurs de combinaison pour les combinaisons de charge fréquentes et quasi-permanentes sont basés sur la norme EC 1-3 les Annexes Nationales 4.2 (1).
- Les coefficients d'exposition et de température sont pris comme 1,0 selon les règlements de la CE 1-3 les Annexes Nationales 5.2 (7) et (8).
- Lors du calcul de l'effet des travaux de construction de grande hauteur, la limite supérieure de μw est de 2,0 selon la norme CE 1-3 les Annexes Nationales 5.3.6 (1).

- L'effet de la neige surplombant le toit n'est pas pris en compte (EC 1-3 les Annexes Nationales 6.3).



CE hongrois

- Comme le calcul est basé sur l'Eurocode général, la procédure présentée ici est appliquée pour cette norme ainsi qu'avec les modifications/extensions énumérées ci-dessous.
- La valeur caractéristique de la charge de neige au sol est automatiquement calculée sur la base de NA1.6 dans EC 1-3 les Annexes Nationales en utilisant l'altitude spécifiée par l'utilisateur.
- Une charge de neige exceptionnelle est générée. Un coefficient de charge de neige exceptionnelle de 2,0 est utilisé selon NA1,8 dans EC 1-3 les Annexes Nationales.



CE Roumain

- Le calcul étant basé sur l'Eurocode général, la procédure présentée ici est appliquée pour cette norme, avec les modifications/extensions énumérées ci-dessous
- La valeur caractéristique de la charge de neige au sol est calculée automatiquement sur la base de 3.1 dans B.A. 1-3 en utilisant la valeur de base du $_{sk\ et\ l}$'altitude spécifiée par l'utilisateur.
- La charge de neige sur le toit est calculée à l'aide de l'équation (4.1) de la norme B.A. 1-3.
- Le facteur d'importance est choisi par l'utilisateur ; la liste des valeurs recommandées est basée sur le tableau 4.2 du B.A. 1-3.
- Les facteurs pour la valeur de combinaison, la valeur fréquente et la valeur quasi-permanente de la charge de neige sont pris comme 0,7, 0,5 et 0,4, respectivement, selon le tableau 4.4 du B.A. 1-3.



CE Tchèque

- Le calcul étant basé sur l'Eurocode général, la procédure présentée ici est appliquée pour cette norme, avec les modifications/extensions énumérées ci-dessous
- La valeur caractéristique de la charge de neige au sol est basée sur la carte citée au point 2.7 dans EC 1-3 les Annexes Nationales (www.snehovamapa.cz)
- Les coefficients de forme de la charge de neige pour les toits cylindriques sont calculés selon 2.19 et la figure les Annexes Nationales.1 dans EC 1-3 les Annexes Nationales
- L'effet des travaux de construction plus élevés est pris en compte selon 2,20 dans EC 1-3 les Annexes Nationales avec l'hypothèse suivante : $b1_{,s}$ = 0,5b1.



CE Polonais

- Le calcul étant basé sur l'Eurocode général, la procédure présentée ici est appliquée pour cette norme, avec les modifications/extensions énumérées ci-dessous
- La valeur caractéristique de la charge de neige au sol est calculée automatiquement sur la base de 1,7, de la figure 1 et du tableau 1 de l'EC 1-3 les Annexes Nationales en utilisant la zone et l'altitude spécifiées par l'utilisateur.



CE Danois

- Comme le calcul est basé sur l'Eurocode général, la procédure présentée ici est appliquée pour cette norme ainsi qu'avec les modifications/extensions énumérées ci-dessous.
- La valeur caractéristique de la charge de neige au sol est de 1,0 kN/m2, conformément au point 4.1 (1) NOTE 1 de l'EC 1-3 les Annexes Nationales.
- Les coefficients d'exposition par défaut à la charge de neige sont basés sur l'hypothèse de Cs = 1,0 selon 5.2(7) dans EC 1-3 les Annexes Nationales. Lorsqu'un coefficient de taille différent doit être appliqué, l'utilisateur doit calculer le coefficient d'exposition résultant et le définir comme étant personnalisé.
- La disposition relative à la charge de neige supplémentaire prévue au point 5.3.3(4) dans la CE 1-3 les Annexes Nationales n'est pas prise en compte.
- Les coefficients de forme de la charge de neige pour les toits cylindriques sont calculés selon le point 5.3.5. (3) dans la CE 1-3 les Annexes Nationales
- L'effet des travaux de construction plus élevés est pris en compte conformément au point 5.3.6 dans la CE 1-3 les Annexes Nationales avec les hypothèses suivantes : (i) l'abri est global ; (ii) bsl = 0,5b1 ; (iii) l'abri est sous le vent.



CE Autriche

- Comme le calcul est basé sur l'Eurocode général, la procédure présentée ici est appliquée pour cette norme ainsi qu'avec les modifications/extensions énumérées ci-dessous.
- La valeur caractéristique de la charge de neige au sol est calculée automatiquement sur la base de l'éq. (C.1) dans EC 1-3 les Annexes Nationales en utilisant la zone et l'altitude spécifiées par l'utilisateur.
- Les coefficients de forme de la charge de neige pour les toits à travées multiples sont calculés conformément au point 9.2.3 de la norme EC 1-3 les Annexes Nationales.
- Les coefficients de forme de la charge de neige pour les toits en voûte sont calculés conformément au point 9.2.4.3 de l'EC 1-3 les Annexes Nationales.
- Les modifications pour le calcul de l'effet des travaux de construction de plus grande hauteur au point 9.2.5.1 dans la CE 1-3 les Annexes Nationales sont prises en compte.



CE Finnois

- Comme le calcul est basé sur l'Eurocode général, la procédure présentée ici est appliquée pour cette norme ainsi qu'avec les modifications/extensions énumérées ci-dessous.
- La valeur caractéristique de la charge de neige au sol doit être spécifiée par l'utilisateur sur la base de la carte de la figure 4.1 dans EC 1-3 les Annexes Nationales.
- Les coefficients d'exposition sont basés sur le tableau 5.1 dans EC 1-3 les Annexes Nationales.
- La disposition de la charge de neige des toits cylindriques est calculée selon la norme EC 1-3. La disposition de charge unique introduite dans la figure 5.6 de l'EC 1-3 les Annexes Nationales n'est pas appliquée. Cela peut entraîner une erreur considérable pour les toits cylindriques peu profonds.
- Les modifications apportées au calcul de l'effet des travaux de construction de plus grande hauteur au point 5.3.6(1) dans la CE 1-3 les Annexes Nationales sont prises en compte. La surface du toit est supposée dépasser 6 m^2.



CE Norvégien

- Puisque le calcul est basé sur l'Eurocode général, la procédure présentée ici est également appliquée pour cette norme avec les modifications/extensions listées ci-dessous.
- La disposition des charges dérivées pour les toits cylindriques est calculée conformément à la norme NA 5.3.5, mais le cas particulier des charges de neige locales le long de l'avant-toit n'est pas généré.
- Le calcul de la charge de neige des toits contigus et proches de constructions plus hautes ne tient pas compte du cas II de la norme NA 5.3.6(1).



Suisse

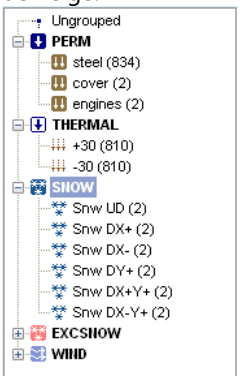
- Les valeurs recommandées sont supposées pour tous les coefficients, sauf indication contraire de l'utilisateur.
- La valeur caractéristique de la charge de neige au sol est automatiquement calculée sur la base de la hauteur de référence. La hauteur de référence (altitude) est spécifiée par l'utilisateur sur la base de la carte figurant à l'annexe D.
- La charge de neige sur le toit est calculée à l'aide de l'équation (9) de la norme SIA261.
- Le coefficient d'exposition est basé sur la topographie choisie par l'utilisateur. Les valeurs de Ce qui correspondent à chaque type de topographie sont tirées du point 5.2.4 de la norme SIA261.
- Le coefficient thermique est pris par défaut à 1,0 et doit être modifié par l'utilisateur si l'application d'une valeur différente est justifiée.
- Le coefficient μ2 de forme de la charge de neige pour les toits est calculé selon la section transversale 5.3 et les figures 2 et 3 de la norme SIA261. Chaque panneau a sa propre valeur μ qui est calculée en utilisant la pente du panneau.
- Les coefficients des creux sont calculés selon le deuxième poteau de la figure 3 de la norme SIA261 en utilisant les pentes des panneaux de toit de raccordement dans la direction du vent du cas de charge de neige dérivée donné. (Un creux dans la direction X, par exemple, n'entraîne aucune accumulation de neige lorsque le vent souffle dans la direction X si les pentes des panneaux de toit de raccordement dans la direction X sont de 0°). Lorsqu'il n'y a pas de creux sur un toit, les dispositions de charge dérivée dans la première colonne de la figure 3 de la norme SIA261 sont prises en compte. L'intensité réduite de la neige est toujours supposée sur le côté balayé par le vent du toit.
- Les coefficients de forme de la charge de neige pour les toits cylindriques sont calculés selon le troisième poteau de la figure 3 de la norme SIA261. Afin d'obtenir une précision suffisante dans la forme de la charge, il est recommandé d'approximer le toit cylindrique avec au moins 20 segments plans.

- L'effet des travaux de construction plus élevés et des obstructions sur le toit est pris en compte conformément aux points 5.3.6 et 6.2 de la norme EC 1-3, en tenant compte des valeurs recommandées pour le poids de la neige au point 5.4.1 de la norme SIA261. Leur influence n'est prise en compte que dans les cas de charge dérivée. La neige n'est supposée dériver que si le mur ou l'obstacle n'est pas parallèle à la direction du vent.
- L'augmentation de la charge de neige est calculée pour un grand toit à faible pente selon le § 5.3.5 de la norme SIA261.
- Les effets de la neige en surplomb sont pris en compte conformément à la directive CE 1-3 6.3.

Exploitation

Les paragraphes suivants expliquent l'exploitation du module de génération automatique de la charge de neige.





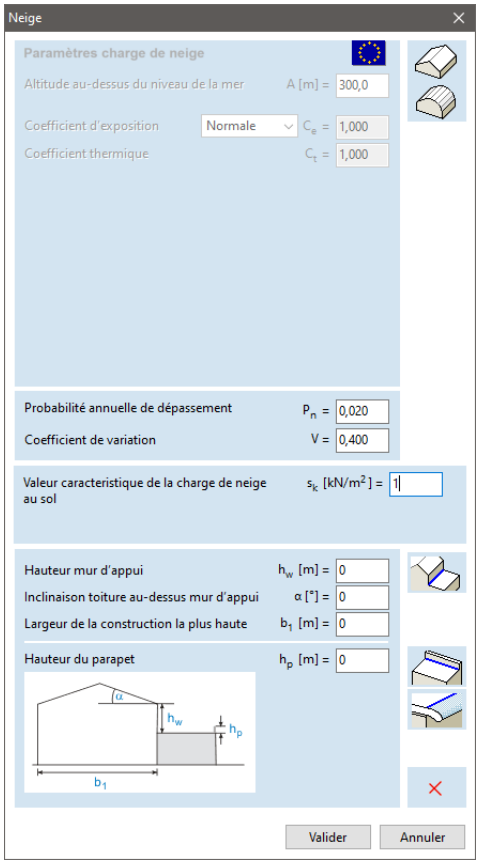
Pour appliquer des charges de neige, cliquez d'abord sur le bouton Cas de charge / groupes de charge et définissez un cas de charge de neige en cliquant sur le bouton Cas de charge de neige. Le groupe de charge de neige sera créé automatiquement. Un groupe de charge de neige exceptionnelle est également créé si la vérification de la neige exceptionnelle est nécessaire et disponible dans le code d'étude donné.
Un cas de charge de neige temporaire est automatiquement créé dans le groupe de charge de neige. Une fois que les paramètres de charge de neige sont spécifiés, ce cas de charge est remplacé par les cas de charge de neige générés. L'algorithme traite à la fois les cas de charges non dérivées et dérivées. Les directions du vent X+, X-, Y+, Y- et dans les directions 45°+n*90° (où *n* = 0, 1, 2, 3) sont prises en compte Pour les détails et les conventions d'appellation, voir... *4.10.1. Cas de charge, groupes de charges*
Pour définir les paramètres de charge de neige, sélectionnez l'un des cas de charge de neige comme cas de charge actuel. L'icône de charge de neige est alors activée dans l'onglet *Charges*.

Si aucun plan de chargement n'a été créé auparavant, dessinez les plans de chargement conformément à *4.10.12 Plan de chargement*



Pour entrer les paramètres de charge de neige, cliquez sur l'icône de charge de neige dans l'onglet *Charges*.
La boîte de dialogue des paramètres permet de choisir des plans de chargement pour toit incliné (ou plat) ou pour toit cylindrique pour la charge de neige et de définir les paramètres de charge.

Paramètres de charge de neige



Deux types de toit peuvent être attribués aux plans de chargement. Cliquez sur l'icône et sélectionnez les plans de chargement appartenant au toit.



Toit incliné (ou plat)



Toit cylindrique

Paramètres de charge de neige :

Altitude au-dessus du niveau de la mer A[m]
La charge de neige caractéristique au sol dépend de la région climatique et de l'altitude du site. Une altitude plus élevée correspond généralement à une intensité de charge plus élevée. Le programme calcule l'intensité de la charge de neige à partir des paramètres.

Coefficient d'exposition C_e
En cas de circonstances particulières, un facteur d'exposition autre que 1,0 peut être fixé en fonction de la topographie (*balayée par le vent, normale, abritée ou autre*).
Une valeur de C_e personnalisée peut également être spécifiée. Dans ce cas, le programme demande une confirmation puis utilise la valeur personnalisée lors du calcul de la neige et de l'intensité de la charge exceptionnelle de neige.

Coefficient thermique C_t
Le coefficient thermique C_t ne peut être fixé à une valeur autre que 1,0 que si l'ingénieur a effectué des calculs de transmission thermique pour le toit (les pertes de chaleur peuvent provoquer la fonte). Dans ce cas, le programme demande une confirmation puis utilise la valeur personnalisée

Coefficient pour les charges de neige exceptionnelles C_{esl}
Dans les pays où le code d'étude exige la vérification des charges de neige exceptionnelles, l'intensité de la charge exceptionnelle est calculée en multipliant l'intensité normale par le C_{esl}. Des valeurs personnalisées peuvent également être saisies. Dans ce cas, le programme demande une confirmation puis utilise la valeur personnalisée.

Zone
Dans les pays où la charge de neige caractéristique dépend de la situation géographique, l'annexe nationale divise le pays en zones. La zone choisie a une incidence sur la charge de neige caractéristique.

Facteur d'importance
Un facteur d'importance peut être introduit en fonction de la classification du bâtiment si le code d'étude l'exige. Des valeurs non standard peuvent également être utilisées après confirmation.

Probabilité annuelle de dépassement et Coefficient de variation
Données d'entrée nécessaires pour calculer la charge de neige pour une période de retour définie par l'utilisateur. Les valeurs par défaut correspondent à la période de retour standard de 50 ans.

Valeur caractéristique de la charge de neige sur le sol
AxisVM calcule les valeurs s_k et s_{Ad} à partir des paramètres ci-dessus. Celles-ci peuvent être écrasées avec une intensité personnalisée, mais dans ce cas, la modification des paramètres n'affectera plus la valeur de la charge.

AxisVM calcule les coefficients de forme de la charge de neige pour les toits contigus et proches de travaux de construction plus élevés ou ayant un parapet qui agit comme un obstacle. Il peut prendre en compte l'effet de la neige en surplomb sur les bords des toits.

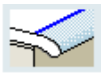
Les paramètres sont enregistrés avec les bords, de sorte que différents bords de toit peuvent avoir des paramètres différents.



Sélectionnez le bord du mur d'appui
Pour définir les bords du toit où les murs sont situés, entrez les paramètres h_w, α, b_1 puis cliquez sur cette icône pour sélectionner les lignes respectives.



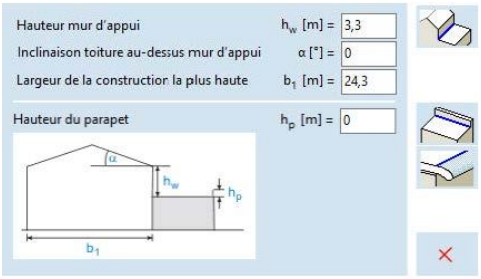
Sélectionner le bord de parapet
Pour définir les parapets, entrez le paramètre h_p puis cliquez sur la deuxième icône pour sélectionner les lignes.



Bordures de toiture avec neige en surplomb
Cliquez sur l'icône pour sélectionner les bords du toit avec la neige en surplomb.



Supprimer
Les propriétés des bords peuvent être supprimées en cliquant sur l'icône de suppression et en sélectionnant les bords.

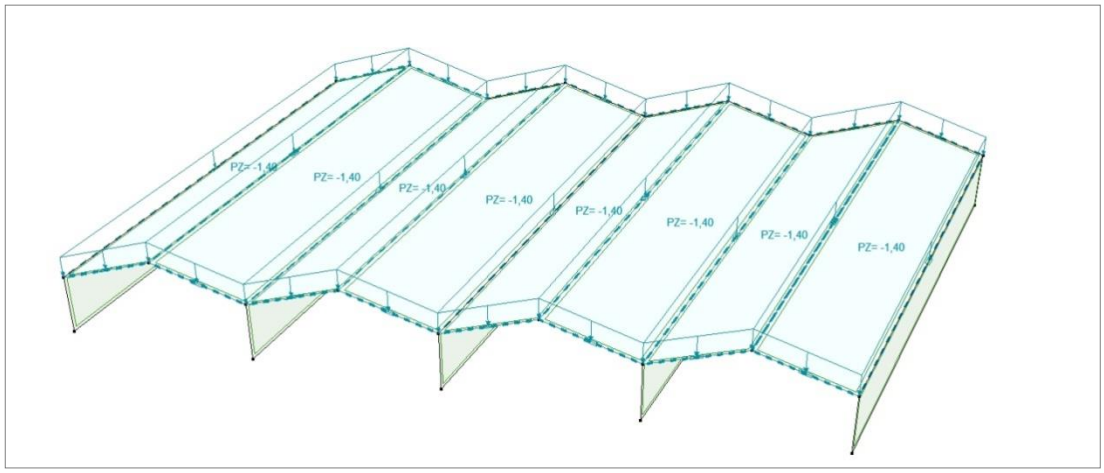


Hauteur du mur d'appui [m].
h_w hauteur du mur d'appui par rapport au niveau du toit

Inclinaison toiture au-dessus du mur d'appui
α est l'angle du toit au-dessus du mur de soutènement. Il détermine la quantité de neige qui tombe du toit le plus élevé.

Largeur de la construction la plus haute
b_1 est la largeur de la construction la plus haute mesurée perpendiculairement au mur

Hauteur du parapet
h_p est la hauteur du parapet ou autre obstacle par rapport au niveau du toit .



4.10.14. Charge de vent - module SWG

Norme

La charge de vent est générée automatiquement dans le programme selon les règles de plusieurs normes nationales et leurs annexes applicables. Les normes du programme pour lesquelles la production de charge éolienne est disponible sont énumérées ci-dessous. Les normes d'étude nationales qui ont servi de base de calcul pour la norme donnée dans le programme sont également énumérées.

Eurocode général	*EN 1991-1-4:2005 (EC 1-4)* *Action Eurocode 1 sur les structures* *Partie 1-4 Actions générales - Actions éoliennes*
CE Allemand	*EC 1991-1-4:2005* *DIN EN 1991-1-4/les Annexes Nationales décembre 2010*
NTC italien	*EC 1991-1-4:2005* *UNI EN 1991-1-4/les Annexes Nationales juillet 2007* *NTC 2018*
CE Néerlandais	*EC 1991-1-4:2005* *NEN EN 1991-1-4/NB Novembre 2007*
CE hongroise	*EC 1991-1-4:2005* *MSZ EN 1991-1-4/les Annexes Nationales janvier 2016*
CE Roumain	*B.A. 1-1-4/2012* *conforme à la norme SR EN 1991-1-4*
CE Tchèque	*EC 1991-1-4:2005* *CSN EN 1991-1-4/les Annexes Nationales juillet 2013*
CE Slovaque	*EC 1991-1-4:2005* *STN EN 1991-1-4/NA Juillet 2008*
CE belge	*EC 1991-1-4:2005* *NBN EN 1991-1-4/ANB décembre 2010*
CE Polonais	*EC 1991-1-4:2005* *PN EN 1991-1-4/les Annexes Nationales octobre 2008*
CE Danois	*EC 1991-1-4:2005* *DS/EN 1991-1-4 DK les Annexes Nationales juillet 2015*
CE Autriche	*EN 1991-1-4:2005* *ÖNORM B 1991-1-4 mai 2013*
CE Finnois	*EN 1991-1-4:2005* *SFS-EN 1991-1-4/les Annexes Nationales novembre 2007*
CE Norvégien	*EN 1991-1-4:2005* *SN-EN 1991-1-4/NA 2009.*
EC Grec	*EN 1991-1-4:2005* *ELOT EN 1991-1-4*
Suisse	*SIA261:2020 Actions sur les structures* *SIA261/1:2003 Spécifications supplémentaires*

Hypothèses Limites d'application

L'applicabilité de l'algorithme dans le programme est limitée par l'applicabilité des spécifications des normes sur lesquelles il est basé. Voici une liste de ces limitations pour chaque norme du programme.



Eurocode général

- L'algorithme peut déterminer la charge de vent des bâtiments à plan rectangulaire, des auvents à plan rectangulaire, des murs autoportants et des panneaux de signalisation. Les bâtiments sont des structures comportant un espace vide interne entouré d'une ligne de murs fermée et couvert par un toit.
- Les types de toits suivants sont traités par l'algorithme pour les bâtiments : plat, mono-pente, deux pans, trois pans, voûté.
- Les types de toits à auvents suivants sont traités par l'algorithme : mono-pente et deux pans.
- La hauteur et la largeur du bâtiment ne doivent pas dépasser 200 m.
- L'effet global du vent est déterminé pour la structure. Ainsi, les coefficients de pression sont calculés en supposant une surface de charge d'au moins 10 m^2 pour les bâtiments. La charge de vent des auvents et des objets autoportants est basée sur des coefficients de force.
- L'influence des structures et des obstacles voisins est supposée négligeable.
- Lors du calcul des coefficients de pression interne, on suppose que le bâtiment n'a pas d'ouverture extérieure dominante. La pression interne n'est calculée que pour les bâtiments.
- Le facteur structurel cscd est pris comme 1,0 (les limites d'applicabilité correspondantes sont énumérées au point 6.2 (1) de la CE 1-4).
- l'influence de la glace et de la neige sur la charge du vent est supposée négligeable



CE Allemand

- le calcul étant basé sur l'Eurocode général, les limites qui y sont présentées s'appliquent également à cette norme avec les extensions/modifications énumérées ci-dessous
- hauteur du bâtiment < 300 m
- altitude du bâtiment < 1100 m



NTC italien

- le calcul étant basé sur l'Eurocode général, les limites qui y sont présentées s'appliquent également à cette norme avec les extensions/modifications énumérées ci-dessous
- altitude du bâtiment < 1500 m



CE Néerlandais

- le calcul étant basé sur l'Eurocode général, les limites qui y sont présentées s'appliquent également à cette norme



CE hongroise

- le calcul étant basé sur l'Eurocode général, les limites qui y sont présentées s'appliquent également à cette norme



CE Roumain

- le calcul étant basé sur l'Eurocode général, les limites qui y sont présentées s'appliquent également à cette norme avec les extensions/modifications énumérées ci-dessous
- altitude du bâtiment < 1000 m (pour les bâtiments situés dans le sud-ouest du Banat et dans les zones dont l'altitude est supérieure à 1000 m, une attention particulière est requise et la vitesse de base du vent doit être spécifiée par l'utilisateur)



CE Tchèque

- le calcul étant basé sur l'Eurocode général, les limites qui y sont présentées s'appliquent également à cette norme



CE Slovaque

- le calcul étant basé sur l'Eurocode général, les limites qui y sont présentées s'appliquent également à cette norme



CE belge

- le calcul étant basé sur l'Eurocode général, les limites qui y sont présentées s'appliquent également à cette norme



CE Polonais

- le calcul étant basé sur l'Eurocode général, les limites qui y sont présentées s'appliquent également à cette norme



CE Danois

- le calcul étant basé sur l'Eurocode général, les limites qui y sont présentées s'appliquent également à cette norme

CE Autriche
- le calcul étant basé sur l'Eurocode général, les limites qui y sont présentées s'appliquent également à cette norme

CE Finnois
- le calcul étant basé sur l'Eurocode général, les limites qui y sont présentées s'appliquent également à cette norme

CE Norvégien
- Le calcul étant basé sur l'Eurocode général, les limites présentées ici s'appliquent également à cette norme.

CE Grec
- le calcul étant basé sur l'Eurocode général, les limites présentées ici s'appliquent également à cette norme.

Suisse
- L'algorithme n'est applicable qu'aux bâtiments de plan rectangulaire ; un espace intérieur vide entouré d'une ligne de murs fermée et couvert d'un toit
- Hauteur du bâtiment < 200 m
- Les coefficients de pression sont calculés selon la norme CE 1-4 ; les toits des types suivants sont couverts : plats, mono-pentaux, duo-pentaux, en croupe et voûtés
- Les effets du vent sont calculés pour l'ensemble de la structure porteuse, ce qui permet de supposer une surface chargée d'au moins 10 m^2
- L'influence de la friction du vent est supposée négligeable
- Le bâtiment est supposé ne pas avoir de visage dominant
- L'influence des structures et obstacles voisins est supposée négligeable

Détails du calcul

La logique du calcul de l'effet du vent est expliquée ci-dessous pour chaque norme du programme

Eurocode général
- Les valeurs recommandées sont supposées pour tous les coefficients, sauf indication contraire de l'utilisateur. Aucune des recommandations figurant dans les annexes nationales n'est supposée.
- La vitesse de base du vent est calculée selon l'équation (4.1) de l'article 4.2 (2) de la directive CE 1-4
- La rugosité du terrain est calculée selon l'équation (4.4) de la section transversale 4.3.2 (1) de la norme EC 1-4
- L'orographie du terrain est prise en compte avec le facteur d'orographie co, mais le calcul de co est effectué par l'utilisateur.
- La vitesse moyenne du vent est calculée selon l'équation (4.3) de la section transversale 4.3.1 (1) de la norme EC 1-4
- L'intensité des turbulences du vent est calculée selon l'équation (4.7) de l'article 4.4 (1) de la directive CE 1-4
- La hauteur de référence est calculée conformément au point 7.2.2 (1) de la directive CE 1-4
- La pression de vitesse de pointe est calculée selon l'équation (4.8) de 4.5 (1) de la norme EC 1-4
- Les coefficients de pression pour les murs des bâtiments sont calculés selon le point 7.2.2 (2) de la norme CE 1-4. L'absence de corrélation entre les pressions du vent entre le côté au vent et le côté sous le vent n'est pas prise en compte, ce qui constitue une hypothèse prudente.
- Les coefficients de pression extérieure pour les toits des bâtiments sont calculés conformément aux points 7.2.3 - 7.2.6 et 7.2.8 de la norme CE 1-4.
- Les coefficients de pression interne sont calculés sur la base soit d'une valeur μ (déterminée à l'aide de l'équation (7.3) dans EC 1-4 et spécifiée par l'utilisateur) en utilisant la figure 7.13 dans EC 1-4, soit de valeurs cpi personnalisées. Si l'utilisateur décide de ne pas spécifier μ ni cpi, deux cas différents sont considérés avec cpi = +0,2 et cpi = -0,3 selon 7.2.9 (6) NOTE 2 dans EC 1-4.
- Les effets de torsion sont calculés selon le point 7.1.2 de la norme CE 1-4.
- La pression sur la face inférieure des angles saillants du toit est considérée comme conforme à la norme EC 1-4 7.2.1 en utilisant la pression des murs directement reliés.
- La charge de vent des auvents est calculée selon la norme CE 1-4 7.3. La charge répartie générée est compatible avec les coefficients de pression pour les zones A, B, C, D et produit une charge de vent dont l'ampleur et la position sont définies par le coefficient de force général.
- La charge de vent des murs autoportants est calculée selon la norme CE 1-4 7.4.1-7.4.2.

- La charge de vent des panneaux est calculée selon la norme EC 1-4 7.4.3.
- L'effet du frottement du vent est déterminé selon la norme CE 1-4 7.5.



CE Allemand

- Le calcul étant basé sur l'Eurocode général, la procédure présentée ici est appliquée pour cette norme, avec les modifications/extensions énumérées ci-dessous
- La vitesse de base du vent est basée sur la figure les Annexes Nationales.A.1 dans EC 1-4 les Annexes Nationales. L'altitude du bâtiment est prise en compte selon la figure A.2 dans EC 1-4 les Annexes Nationales.
- La vitesse moyenne du vent et l'intensité des turbulences sont calculées selon le tableau les Annexes Nationales.B.2 dans EC 1-4 les Annexes Nationales.
- La pression de vitesse de pointe est calculée selon l'équation (les Annexes Nationales.B.11) dans les Annexes Nationales.B.4.1 (4) dans EC 1-4 les Annexes Nationales
- Les coefficients de pression pour les murs sont calculés selon le tableau les Annexes Nationales.1 dans EC 1-4 les Annexes Nationales.
- Les coefficients de pression pour les toits plats sont modifiés conformément au point 7.2.3 de la directive CE 1-4 les Annexes Nationales



NTC italien

- Comme le calcul est basé sur l'Eurocode général, la procédure présentée ici est appliquée pour cette norme ainsi qu'avec les modifications/extensions énumérées ci-dessous.
- La vitesse de base du vent est calculée en utilisant les paramètres du tableau N.A.1 dans EC 1-4 les Annexes Nationales.
- La rugosité du terrain est calculée à l'aide de la valeur 3.3.7 du NTC 2018.
- La répartition de la charge de vent pour les murs des bâtiments élancés n'est pas variable selon la norme CE 1-4, mais uniforme selon les règlements de la norme 3.3 de la NTC 2018.
- Les coefficients de pression pour les murs sont basés sur le tableau IV. en 3.3 du NTC 2018.
- La géométrie de la zone de charge et les coefficients de pression correspondants pour les toits sont basés sur la valeur 3,3 de la NTC 2018.
- Les coefficients de pression globale selon la NTC 2018 ne sont pas pris en compte.
- Le calcul automatique de la pression interne est basé sur la valeur 3,3 dans le NTC 2018 en utilisant cpi =±0,2.



CE Néerlandais

- Comme le calcul est basé sur l'Eurocode général, la procédure présentée ici est appliquée pour cette norme ainsi qu'avec les modifications/extensions énumérées ci-dessous.
- La vitesse de base du vent est proposée sur la base des zones de la figure NB.1 et des valeurs correspondantes du tableau NB.1 dans la CE 1-4 les Annexes Nationales.
- La rugosité du terrain est calculée selon l'équation (4.5) et le tableau 4.1 de la norme EC 1-4 les Annexes Nationales
- Les coefficients de pression pour les murs sont calculés selon le tableau 7.1 dans EC 1-4 les Annexes Nationales. L'absence de corrélation entre les pressions du vent entre le côté au vent et le côté sous le vent est toujours prise en compte en multipliant les intensités de pression par 0,85.
- Les coefficients de pression extérieure des toits sont calculés conformément aux tableaux 7.2, 7.3a, 7.3b, 7.4a, 7.4b et 7.5 dans EC 1-4 les Annexes Nationales.



CE hongroise

- Le calcul étant basé sur l'Eurocode général, la procédure présentée ici est appliquée pour cette norme, avec les modifications/extensions énumérées ci-dessous
- La vitesse de base du vent est de 23,6 m/s2 selon NA4.1 dans EC 1-4 les Annexes Nationales.
- La valeur recommandée de cdir = 1,00 dans NA4.2 dans EC 1-4 les Annexes Nationales est prise en compte.



CE Roumain

- Le calcul étant basé sur l'Eurocode général, la procédure présentée ici est appliquée pour cette norme, avec les modifications/extensions énumérées ci-dessous
- La vitesse de base du vent est calculée à l'aide de l'équation (2.2) et de la figure 2.1 de B.A. 1-4.
- Le facteur d'importance est pris en compte dans le calcul de l'intensité de la pression du vent selon les points (3.1) et (3.2) de la norme B.A. 1-4.



CE Tchèque

- Le calcul étant basé sur l'Eurocode général, la procédure présentée ici est appliquée pour cette norme, avec les modifications/extensions énumérées ci-dessous
- La vitesse de base du vent est basée sur la carte des vents de la République tchèque de la figure les Annexes Nationales.4.1 dans EC 1-4 les Annexes Nationales.



CE Slovaque

- Le calcul étant basé sur l'Eurocode général, la procédure présentée ici est appliquée pour cette norme, avec les modifications/extensions énumérées ci-dessous
- La vitesse de base du vent est calculée selon le tableau EC 1-4 les Annexes Nationales NB1.
- Les coefficients de pression extérieure des toits sont modifiés conformément à la norme CE 1-4 les Annexes Nationales 2.27-2.30.



CE belge

- Comme le calcul est basé sur l'Eurocode général, la procédure présentée ici est appliquée pour cette norme ainsi qu'avec les modifications/extensions énumérées ci-dessous.
- La vitesse de base du vent est basée sur la carte des vents de la Belgique (Fig. 4.3) dans EC 1-4 les Annexes Nationales.
- Les coefficients cdir et cseason recommandés dans EC 1-4 les Annexes Nationales peuvent être pris en compte par l'utilisateur, mais les valeurs par défaut des deux paramètres sont de 1,0.
- Le facteur de turbulence kl est calculé selon 4,4 dans EC 1-4 les Annexes Nationales.



CE Polonais

- Le calcul étant basé sur l'Eurocode général, la procédure présentée ici est appliquée pour cette norme, avec les modifications/extensions énumérées ci-dessous
- La vitesse de base du vent est calculée selon le tableau les Annexes Nationales.1 dans la CE 1-4 les Annexes Nationales.
- Les coefficients de cdir recommandés dans le tableau les Annexes Nationales.2 dans EC 1-4 les Annexes Nationales peuvent être pris en compte par l'utilisateur, mais la valeur par défaut du paramètre est 1,0.
- La rugosité du terrain est calculée selon le tableau les Annexes Nationales.3 dans EC 1-4 les Annexes Nationales.



CE Danois

- Comme le calcul est basé sur l'Eurocode général, la procédure présentée ici est appliquée pour cette norme ainsi qu'avec les modifications/extensions énumérées ci-dessous.
- La vitesse de base du vent est de 24 m/s, conformément à l'article 4.2 (1)P NOTE 2 de l'EC 1-4 les Annexes Nationales. Des valeurs différentes (par exemple pour les zones situées à moins de 25 km de la mer du Nord) doivent être spécifiées par l'utilisateur.
- Les coefficients cdir et cseason recommandés en 4.2 (2)P dans EC 1-4 les Annexes Nationales peuvent être pris en compte par l'utilisateur. Les valeurs par défaut des deux paramètres sont 1,0.
- Le coefficient de pression pour la zone I des toits plats est calculé conformément au point 7.2.3(4) en EC 1-4 les Annexes Nationales.



CE Autriche

- Le calcul étant basé sur l'Eurocode général, la procédure présentée ici est appliquée pour cette norme, avec les modifications/extensions énumérées ci-dessous
- La pression de base de la vitesse (qb) doit être spécifiée par l'utilisateur sur la base de l'annexe A de la directive CE 1-4 les Annexes Nationales.
- La pression de vitesse de pointe est calculée selon le tableau 1 dans EC 1-4 les Annexes Nationales
- Les approches simplifiées pour les coefficients de pression dans la CE 1-4 les Annexes Nationales ne sont pas appliquées. Les coefficients de pression sont calculés à l'aide des approches complexes les plus précises à tout moment.



CE Autriche

- Les coefficients de pression pour les murs sont calculés selon les tableaux 3a, 3b et 4 dans
  EC 1-4 les Annexes Nationales.
- Les zones F et G ne sont pas utilisées pour les toits lorsque leur surface cumulée est inférieure à 20 % de la surface totale du toit, conformément au point 9.2 de la norme CE 1-4 les Annexes Nationales.



CE Finnois

- Comme le calcul est basé sur l'Eurocode général, la procédure présentée ici est appliquée pour cette norme ainsi qu'avec les modifications/extensions énumérées ci-dessous.
- La vitesse de base du vent pour les différentes parties du pays est basée sur la norme 4.2(1)P dans l'EC 1-4 les Annexes Nationales.
- La valeur unique du kr dans 4.3.2(1) dans EC 1-4 les Annexes Nationales est prise en considération lors du calcul de la rugosité du terrain.



CE norvégien

- Puisque le calcul est basé sur l'Eurocode général, la procédure présentée ici est également appliquée pour cette norme avec les modifications/extensions listées ci-dessous.
- La valeur fondamentale de la vitesse de base du vent (vb0) doit être spécifiée par l'utilisateur en tenant compte de la situation.
- La vitesse de base du vent est calculée en tenant compte du facteur d'altitude (calt). Le facteur d'altitude doit être spécifié par l'utilisateur, la valeur par défaut est 1.
- Le facteur de turbulence (kl) peut être défini individuellement, la valeur par défaut est 1. Le facteur de turbulence est nécessaire pour le calcul de l'intensité de turbulence Iv(z).
- Dans le calcul du facteur de rugosité, le module prend en compte les spécifications pour kr, z0, zmin spécifiées dans EC 1-4 NA 4.3.2 (1).
- Dans le cas des toits voûtés et des dômes, les spécifications pour les zones G et F de NA.7.2.8(1) sont prises en compte.
- Les cas particuliers décrits dans NA.4.3.2(2) et NA.4.3.3 ne peuvent pas être traités dans le module.



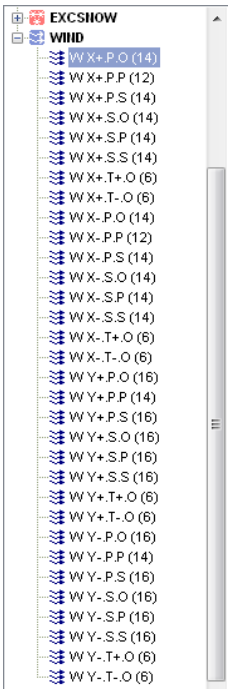
Suisse

- Les valeurs recommandées sont supposées pour tous les coefficients, sauf indication contraire de l'utilisateur.
- La valeur de base de la pression de vitesse (q_{p0}) doit être déterminée par l'utilisateur sur la base de l'annexe E de la norme SIA 261
- La pression de vitesse de pointe est calculée selon l'équation (11) du point 6.2.1.1 de la norme SIA 261
- Le coefficient de profil du vent c_h est calculé selon l'équation (12) du point 6.2.1.2 de la norme SIA 261, en fonction des paramètres du tableau 4 correspondant à la catégorie de terrain choisie par l'utilisateur.
- La pression du vent est calculée selon l'équation (13) (externe) et l'équation (14) (interne) du point 6.2.2.1 de la norme SIA 261. Les coefficients de pression correspondants ne sont pas tirés de l'annexe C, mais des tableaux 7.2.3 - 7.2.6 et 7.2.8 de la CE 1-4 afin de fournir une solution plus généralement applicable qui est également conforme à la pratique suisse en matière d'étude.
- Le facteur de réduction C_{red} est supposé être de 1,0 dans tous les cas.
- Le facteur dynamique c_d est supposé être de 1,0 dans tous les cas. Les limitations correspondantes sont énumérées au point 6.3.5 de la norme SIA 261.

Exploitation

Les paragraphes suivants expliquent l'exploitation du module de génération automatique de la charge du vent.





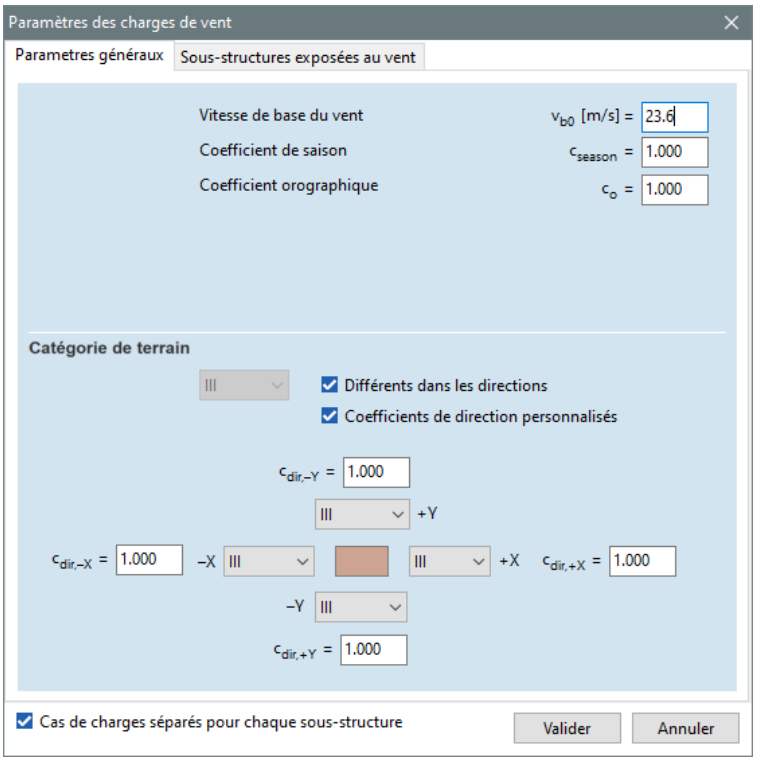
Pour appliquer les charges de vent selon l'Eurocode, cliquez d'abord sur le bouton Cas de charge / groupes de charge et définissez un cas de charge de vent en cliquant sur le bouton de cas de charge de vent. Un groupe de charge de vent sera créé automatiquement. Dans un premier temps, un cas de charge de vent temporaire est créé dans le groupe de charge de vent et son nom peut être défini. Après avoir défini les groupes de charge et réglé les paramètres de charge de vent, le programme remplace le cas de charge temporaire par les cas de charge de vent nécessaires.
Pour plus de détails sur la convention d'appellation des cas de charge de vent, voir... *4.10.1. Cas de charge, groupes de charges*

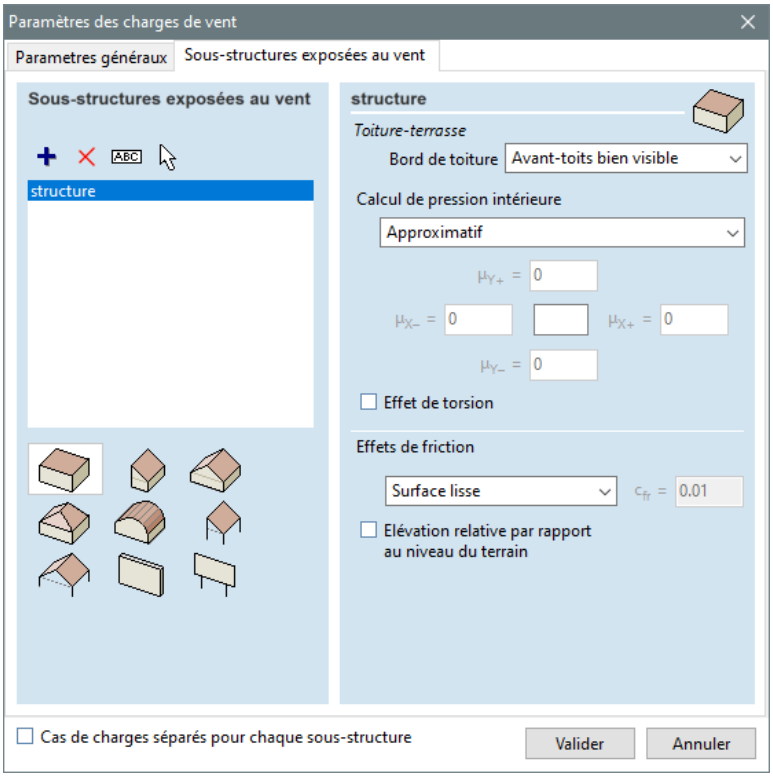


Pour spécifier les paramètres de la charge de vent, sélectionnez un cas de charge de vent. Cela active l'icône de la charge de vent dans l'onglet *Charges*. Si aucun plan de chargement n'a été créé, dessinez les plans de chargement pour les murs et les toits selon *4.10.1. Cas de charge, groupes de charges*. Cliquez sur l'icône pour ouvrir la boîte de dialogue des paramètres de charge du vent.

Paramètres de charge de vent
Paramètres généraux

Le premier onglet du dialogue *Paramètres de charge de vent* correspond aux paramètres généraux, tandis que le second onglet sert à définir les paramètres spécifiques à la structure.





Les paramètres suivants peuvent être spécifiés (certains paramètres ne sont pas requis par chaque code d'étude)

Altitude au-dessus du niveau de la mer A [m]
L'altitude est l'un des facteurs affectant la vitesse de base du vent dans plusieurs pays.
Si v_{b0} dépend de *A*, v_{b0} est automatiquement calculé.

Facteur d'importance
Un facteur d'importance peut être introduit en fonction de la classification du bâtiment si le code d'étude l'exige. Des valeurs non standard peuvent également être saisies avec confirmation.

Zone
Dans les pays où la charge de vent caractéristique dépend de la situation géographique, l'annexe nationale divise le pays en zones. La zone sélectionnée définit automatiquement la vitesse de base du vent.

Vélocité de base du vent v_{b0} [m/s]
v_{b0} est automatiquement calculé à partir des paramètres ci-dessus. Cette valeur peut être remplacée par une valeur personnalisée si vous le souhaitez.

Facteur de saison c_{saison}
Le code d'étude peut permettre de réduire l'action du vent grâce à un facteur C_{saison} pour les structures temporaires. Il tient compte du fait que la vitesse du vent calculée ne se produit pas pendant la durée de vie de la structure. La valeur réelle est laissée au jugement et à la responsabilité du concepteur.

Facteur d'altitude c_{alt}
Le facteur peut être défini uniquement dans le cas de la norme norvégien, la valeur par défaut est 1. Le paramètre est pris en compte dans le calcul de la vitesse de base du vent. Le paramètre doit être fixé par les directives de l'annexe nationale.

Facteur de turbulence kl
Le facteur peut être défini uniquement dans le cas de la norme norvégien, la valeur par défaut est 1. Le paramètre est nécessaire pour le calcul de l'intensité de turbulence Iv(z). Dans le cas des autres normes, le module considère les valeurs constantes spécifiées dans les annexes nationales.

Facteur d'orographie c_0
Le facteur c_0 prend en compte l'effet de l'orographie (collines, etc.) sur la vitesse du vent. Le code d'étude donne des recommandations sur le moment et la manière d'utiliser ce facteur.

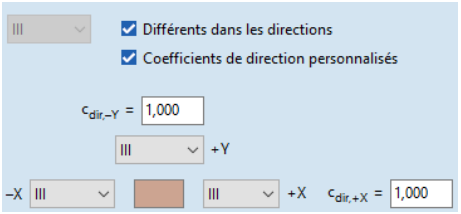
Facteur structurel $c_s \cdot c_d$

Ce facteur peut être défini dans le code néerlandais, sa valeur par défaut est 1. Ce facteur est pris en compte lors du calcul de l'action du vent.

Catégorie de terrain
Sélectionnez une catégorie de terrain dans la liste déroulante. Chaque catégorie correspond aux zones énumérées ci-dessous :

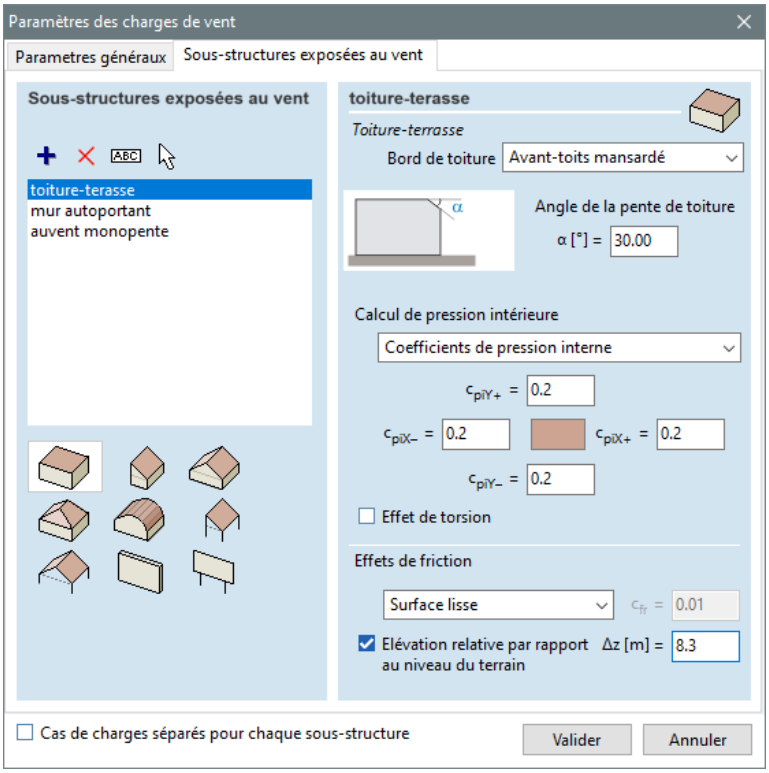
- ***0*** Mer, zone côtière exposée au grand large
- ***I*** Lacs ou zone plane et horizontale avec une végétation négligeable et sans obstacles
- ***II*** Zone à végétation basse comme l'herbe et les obstacles isolés (arbres, bâtiments) avec des séparations d'au moins 20 hauteurs d'obstacles
- ***III*** Zone avec une couverture régulière de végétation ou de bâtiments ou avec des obstacles isolés avec des séparations d'une hauteur maximale de 20 obstacles (comme les villages, les terrains suburbains, la forêt permanente)
- ***IV*** Zone dans laquelle au moins 15 % de la surface est couverte de bâtiments et dont la hauteur moyenne dépasse 15 m

Si les terrains sont de directions différentes, cochez la case *Différentes directions* et définissez les catégories de terrain pour chaque direction de vent individuellement.



En cochant l'option *Facteurs directionnels personnalisés, on obtient* quatre facteurs directionnels c_{dir} *qui tiennent compte d'*une direction de vent dominante sur le site, la vitesse du vent n'étant donc pas identique dans toutes les directions.
Le facteur par défaut est de 1,0 dans toutes les directions.

Sous-structures exposées au vent



L'onglet "*Sous-structures exposées au vent*" permet de définir des paramètres spécifiques à la structure. Le programme peut calculer la charge de vent de plusieurs structures indépendantes. Il est également possible de modéliser plusieurs parties d'une même structure indépendamment en tant que sous-structures. Le programme peut combiner les charges de vent de ces sous-structures en une charge de

vent générale pour l'ensemble de la structure. Si cela n'est pas souhaité, cochez *Cas de charge distincts pour chaque sous-structure dans* le coin inférieur gauche.



Définir une nouvelle sous-structure
Indiquez d'abord le nom de la sous-structure, puis sélectionnez les plans de chargement correspondants. La liste des plans de chargement correspondants est affichée sous forme d'info-bulle lorsque la souris passe sur le nom.



Supprimer la sous-structure
Supprime les sous-structures sélectionnées.



Renommer la sous-structure
Renommer les sous-structures sélectionnées



Modifier une sous-structure
Modifie l'affectation des plans de chargement de la sous-structure sélectionnée.

Géométrie du toit
Sélectionnez l'icône décrivant la géométrie du toit qui correspond le mieux à la structure conçue. Les types disponibles sont: toiture terrasse, monopente, deux pans, 3 trois pans et cintrée en berceau.

Bâtiments



Toiture terrasse



Toiture monopente



Toiture deux pans



Toiture trois pans



Toiture cintrée en berceau

Après avoir sélectionné la géométrie du toit, les paramètres suivants peuvent être spécifiés

Bord de toiture pour toiture terrasse
Si un toit plat est défini, l'acrotère a un effet significatif sur l'intensité de la charge du vent. Quatre options sont disponibles: avant-toit pointu (aucun paramètre), mur de parapet (entrer la hauteur du parapet), avant-toit rond (entrer le rayon d'arrondi), avant-toit mansardé (entrer l'angle d'inclinaison).

Effet de torsion
L'Eurocode exige la vérification des vents de torsion pour les structures sensibles à la torsion. Si cette option est cochée, des cas de charge supplémentaires seront créés pour les vents de torsion.

Calcul de la pression intérieure
Quatre options sont disponibles pour déterminer la pression interne des bâtiments:

Approximative: Le programme utilise les coefficients critiques de pression et de succion recommandés par la norme Eurocode. Deux ensembles de charges de vent sont générés dans ce cas.

En fonction de la superficie des ouvertures: L'utilisateur spécifie la valeur de μ *en* fonction de la distribution des ouvertures dans différentes directions et le programme calcule les coefficients de pression interne en fonction de ces valeurs. Si $\mu=0$ est spécifié, le programme utilise la méthode approximative dans cette direction.

Coefficients de pression interne: L'utilisateur spécifie directement les coefficients de pression interne.

Désactivé: Le programme n'applique pas de pression interne pendant la production de la charge éolienne.

Élévation relative par rapport au niveau du terrain
Le point le plus bas des plans de chargement sélectionnés pour la production de la charge vent est supposé être au niveau du sol par défaut. L'option de niveau de terrain personnalisé permet à l'utilisateur de spécifier une hauteur personnalisée pour ce point. Cela permet à l'utilisateur d'effectuer des analyses avancées telles que la prise en compte de la charge vent pour le toit d'un bâtiment uniquement.

Effet de friction
L'effet de la friction du vent est pris en compte par défaut pour chaque structure. Le coefficient de frottement correspondant à la surface de la structure est sélectionné dans la liste déroulante. Il est également possible de spécifier une valeur personnalisée pour le coefficient de frottement. Les effets de la friction du vent peuvent être ignorés en définissant *cfr* = 0 comme valeur personnalisée.

Auvents

Géométrie du toit

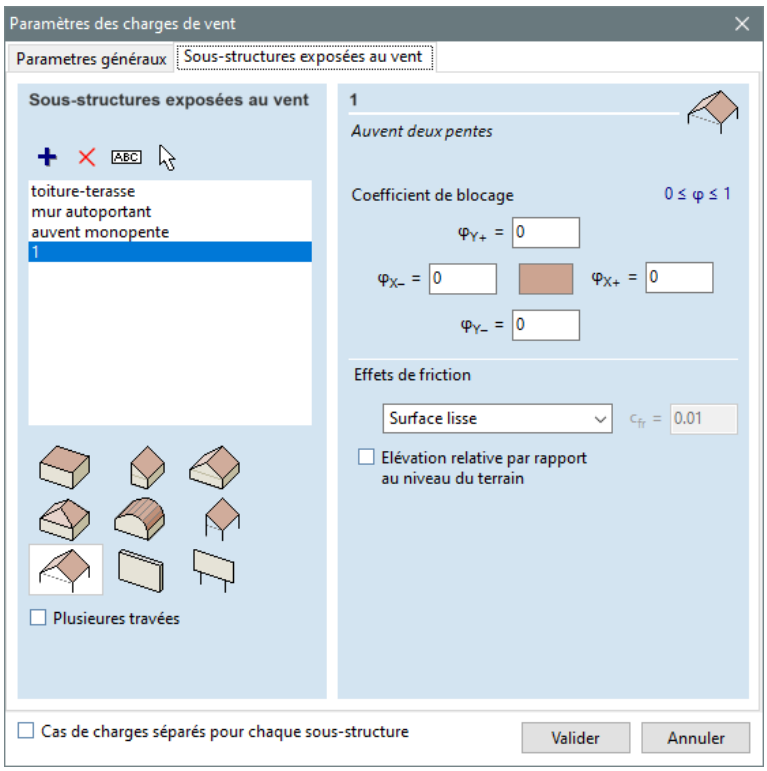
Sélectionnez l'icône décrivant la géométrie du toit qui correspond le mieux à la structure conçue. Les types disponibles sont: monopente et à deux pans



Toiture monopente



Toiture à deux pans



Une fois la géométrie du toit sélectionnée, les paramètres suivants peuvent être spécifiés:

Facteurs de blocage

Le facteur de blocage *p* décrit la quantité d'obstacles présents sous le toit de l'auvent qui peuvent bloquer la libre circulation de l'air dans la direction donnée. La valeur de 0,0 représente un auvent vide, tandis que la valeur de 1,0 représente un auvent entièrement bloqué dans la direction correspondante. Un facteur de blocage peut être spécifié pour chacune des quatre directions principales. Notez que si le côté au vent d'un auvent est entièrement bloqué par un obstacle, il est souvent utile d'envisager l'application de plusieurs sous-structures et d'une charge de vent combinée. Dans ce cas, le côté entièrement bloqué peut être modélisé comme un bâtiment.

Plusieurs travées

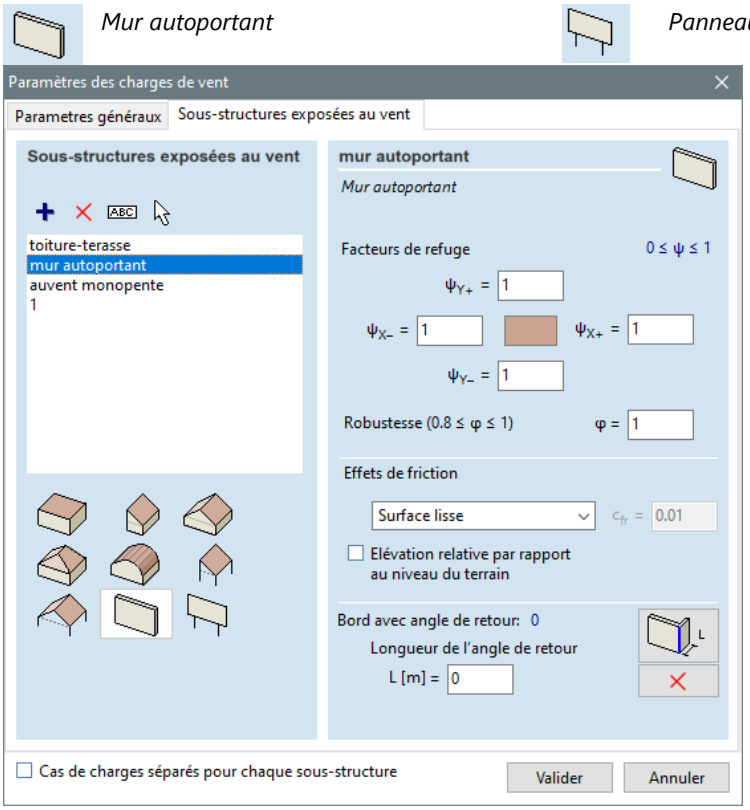
La charge de vent des auvents à portées multiples doit être modélisée par la combinaison de la charge de vent sur un ensemble de structures. La position de chaque structure dans le bâtiment à travées multiples doit être spécifiée (travée d'extrémité, deuxième travée à partir d'une extrémité ou l'une des autres travées) en utilisant les icônes en bas à gauche. Afin d'obtenir une charge de vent générale pour l'ensemble de la structure, il est important de désactiver les *cas de charge distincts pour chaque sous-structure*.

Élévation relative par rapport au niveau du terrain

Si les plans de chargement sélectionnés pour décrire la géométrie du toit de la canopée n'incluent aucun élément de paroi (c'est le scénario typique), alors l'algorithme de l'éolienne définira le niveau du terrain comme le point le plus bas du toit par défaut. C'est une hypothèse incorrecte dans la plupart des cas qui peut être corrigée en spécifiant l'élévation du point le plus bas du toit par rapport au niveau du terrain.

Structures autonomes

Les types de structures indépendantes suivants sont disponibles pour la génération automatique de la charge du vent:



Une fois le type de structure sélectionné, les paramètres suivants peuvent être spécifiés:

Mur autoportant

Facteurs de refuge
Les facteurs d'abri tiennent compte des murs ou des clôtures supplémentaires au vent qui peuvent réduire la pression du vent agissant sur le mur modélisé. Différents facteurs d'abri peuvent être spécifiés pour les quatre directions principales.

Robustesse
Le ratio de solidité est proportionnel au nombre d'ouvertures sur le mur. 1,0 correspond à un mur solide. Les murs dont le rapport de solidité est inférieur à 0,8 sont calculés comme des clôtures et sont hors du champ d'application de l'algorithme de production de la charge vent.

Élévation relative par rapport au niveau du terrain
Les panneaux qui sont séparés du sol par une hauteur inférieure au quart de leur propre hauteur doivent être modélisés comme des murs autoportants et leur élévation doit être précisée ici.



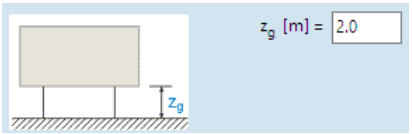
Longueur de l'angle de retour
La charge de vent d'un mur avec des angles de retour dépend de la longueur des angles de retour à chaque extrémité du mur. La longueur de l'angle de retour doit être spécifiée en premier lieu, puis - après avoir cliqué sur l'icône de l'angle de retour - le bord du mur correspondant à l'angle de retour doit être sélectionné. Seule la longueur de l'angle de retour a un effet sur la charge de vent calculée, sa direction n'en a pas.



Supprimer tous les coins de retour en cliquant sur le bouton *Supprimer les coins de retour des bords*

Enseigne

Le calcul de la charge de vent des panneaux ne nécessite que la hauteur du bord inférieur du panneau par rapport au niveau du terrain.



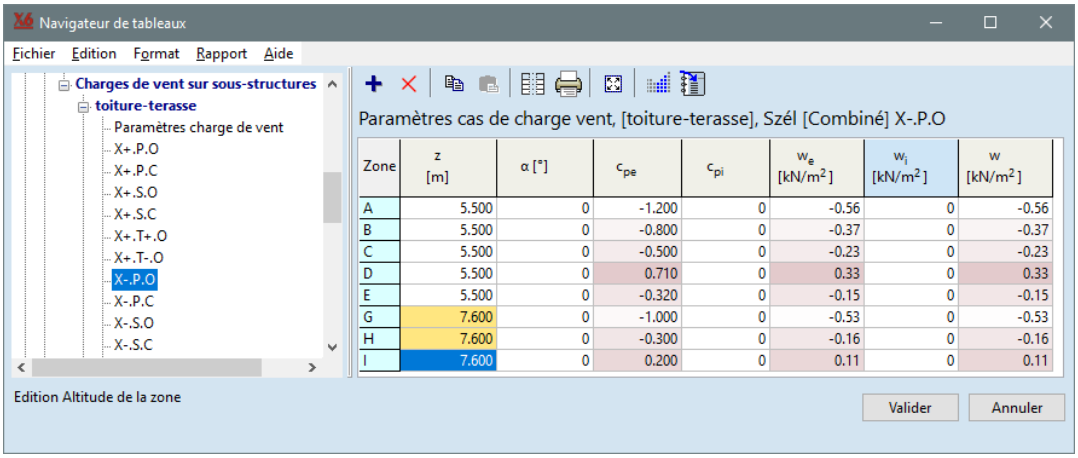
Après avoir cliqué sur le bouton VALIDER, les charges de vent sont générées automatiquement pour les plans de chargement sélectionnés.

Données sur la charge de vent

Une fois les charges de vent générées, toutes les données relatives à leur calcul sont disponibles dans le navigateur de tableaux *sous la rubrique Charges/charge de vent sur les sous-structures.*

Les paramètres de charge de vent résument les valeurs qui ne sont pas spécifiques à un cas de charge. Les paramètres de charge de vent par défaut conduisent à une charge de vent indépendante de la direction, donc à des paramètres identiques dans les quatre directions. Si l'utilisateur spécifie des catégories de terrain dépendantes de la direction et/ou des facteurs de direction personnalisés, ces valeurs deviennent différentes dans chaque direction.

Paramètres du cas de charge de vent résume les paramètres spécifiques à chaque cas de charge de vent. Ces paramètres sont regroupés par zones générées sur les plans de chargement sélectionnés. Un nombre après la lettre de la zone indique qu'il y a plus d'un type de zone donné sur le projet dans le cas de charge sélectionné. Les zones de mur (A-E) sont divisées en deux zones pour les bâtiments de grande hauteur. "1" correspond toujours à la zone inférieure, "2" à la zone supérieure pour les murs. Plusieurs zones de toit du même type sont disponibles pour les toits à une seule pente (F) et les toits à deux pentes (F-I). Les zones situées du côté au vent des auvents sont marquées d'un "1" et les zones situées du côté sous le vent sont marquées d'un "2". Les zones dont le nom comporte un "S" dans les murs autoportants sont celles où l'effet des abris est pris en considération. La zone FR montre l'effet du frottement du vent pour chaque type de structure.



4.10.15. Génération de la charge du vent à partir d'un fichier CFD (Computational Fluid Dynamics) - module CFD.

CFD interface



L'interface CFD permet d'appliquer une distribution de pression sur des domaines ou des panneaux de charge. Les normes fournissent des indications sur le calcul des coefficients de pression et la définition des charges de vent uniquement pour les structures ayant une forme géométrique simple (*4.10.14. Charge de vent - module*).

Dans le cas de structures plus complexes ou composées, ces méthodes ne sont pas applicables et les coefficients de pression doivent être déterminés individuellement par une simulation de dynamique des fluides (modélisation CFD) ou un essai en soufflerie. L'interface CFD permet d'importer ces résultats dans AxisVM.

CFD est un module d'interface générique pour définir les pressions causées par des substances en écoulement.

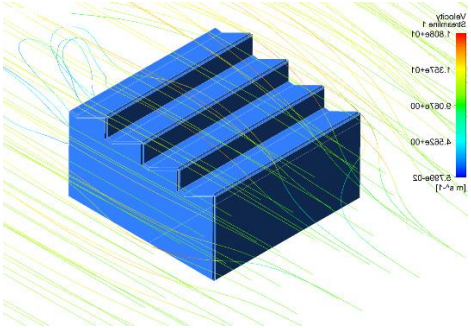
Étapes de la génération de charges

Exportation du projet vers un fichier STL

Un fichier STL (*Stéréo Lithographie)* contient les données d'un maillage triangulaire décrivant la surface d'une structure.

Choisissez *Fichier / Exporter* dans le menu puis choisissez le format de fichier STL. Activez le bouton radio du *modèle CFD*. Un modèle 3D de la structure sera généré incluant les domaines et les panneaux de charge. Le fichier résultant doit être chargé dans le logiciel CFD.

Importation de la distribution de pression à partir du logiciel de simulation



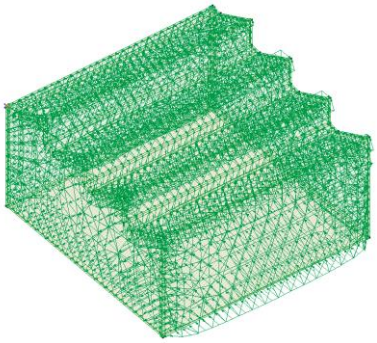
Le module importe la distribution de pression déterminée par la simulation de la dynamique des fluides et l'applique aux éléments AxisVM en tant que charges de vent en régime permanent.
Les valeurs de pression doivent être importées en traitant un fichier d'interface.

Le module CFD lit les valeurs de pression à partir d'un fichier texte ASCII. Chaque ligne du fichier doit contenir

- les coordonnées globales **x, y, z**
- une valeur de pression

Le caractère séparateur entre ces champs peut être un espace, une virgule ou un point-virgule. Les unités des valeurs de pression peuvent être choisies, mais les coordonnées doivent être en mètres.

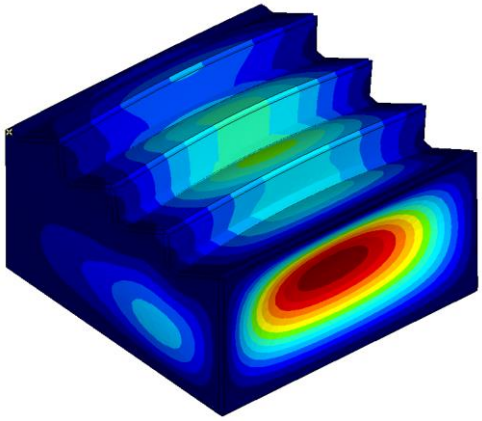
Interpolation (Traitement du champ de pression



Le fichier d'interface généré par le logiciel de simulation de la dynamique des fluides peut être chargé dans l'onglet *Charges*, en cliquant sur l'icône ci-dessus. Les valeurs de charge sont obtenues en interpolant le champ de pression décrit dans le fichier d'interface.
Les points de pression importés sont interpolés sur un maillage triangulaire, où une distribution linéaire de la pression est supposée sur chaque triangle. La résultante de cette distribution linéaire est rendue égale à la résultante du champ original. Si aucune surface AxisVM n'a pu être associée à certains points de pression (ou si la surface ne peut être clairement déterminée), un message d'avertissement est affiché.

☞ **Cette méthode ignore les charges de bord car les surfaces ne peuvent pas être associées sans ambiguïté aux points de bord.**

Affichage des résulats

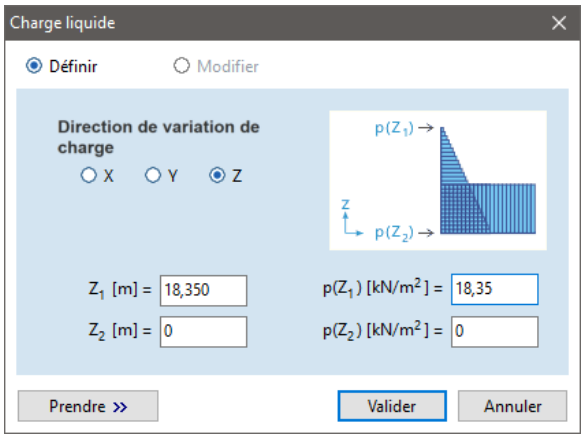


Les déformations et les forces générées par la distribution de la pression du vent calculée peuvent être affichées de la manière habituelle sous forme de diagrammes, d'isolignes ou d'isosurfaces.

4.10.16. Charge hydrostatique



Permet d'appliquer des charges de pression caractéristiques des fluides aux éléments de plaque ou de coque sélectionnés. La charge réelle est calculée à partir des valeurs calculées au coin des éléments.
Les charges fluides créées avec la même définition seront traitées comme une seule charge. Ainsi, si vous avez spécifié une charge fluide sur plusieurs éléments et que vous cliquez sur le contour de la charge sur l'un de ces éléments, la charge sera sélectionnée sur tous les éléments et vous pourrez facilement modifier les paramètres de la charge.



4.10.17. Poids Propre



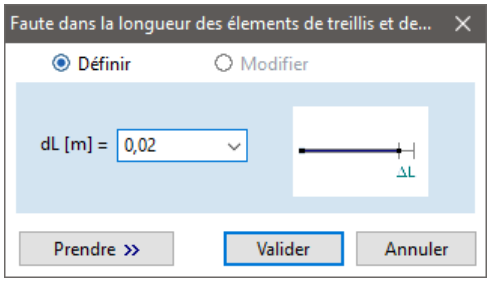
Cette commande vous permet de prendre en compte le poids propre des éléments (auxquels sont attribués des matériaux) et des domaines dans l'analyse. Le poids propre est calculé sur la base de la section transversale, de la densité de masse du matériau, de l'accélération gravitationnelle *g* et de la longueur ou de la surface de l'élément. La charge est appliquée comme une charge répartie dans la direction du vecteur de gravitation.

Une ligne pointillée est tracée le long des éléments linéaires ou des contours surfacique/domaine. Si les annotations d'intensité de charge sont activées, un G bleu clair apparaît.

4.10.18. Défaut de longueur (erreur de fabrication)



Ce type de charge est utilisé lorsqu'un élément de poutre structurelle est plus court ou plus long que nécessaire en raison d'un défaut de fabrication.
Permet d'appliquer aux éléments sélectionnés la charge nécessaire pour forcer les poutres courtes/longues à s'adapter à la distance des nœuds correspondants.
Vous devez spécifier la valeur de l'erreur de fabrication, *dL [m]*. Un *dL* positif signifie que la poutre est plus longue de *dL*.

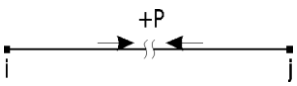


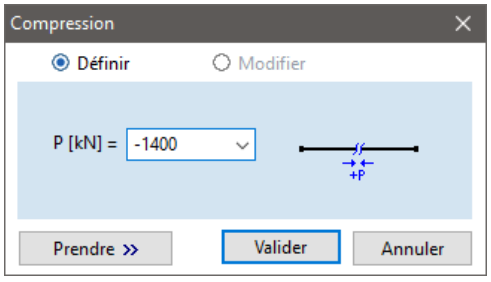
La charge a le même effet que la charge thermique $dT^{=} = dL/(\alpha \cdot L)$

4.10.19. Traction / compression



Permet de définir une force interne axiale initiale dans les fermes/poutres. La charge a le même effet qu'une charge thermique $dT^{=} = -P/(\alpha \cdot E \cdot A)$.

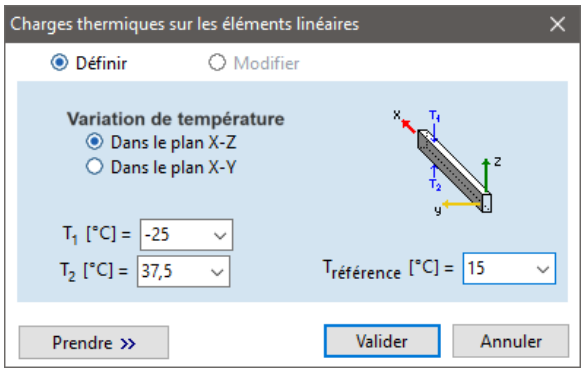




4.10.20. Charge thermique sur les éléments linéaires



Cette commande vous permet d'appliquer des charges de température aux éléments linéaires sélectionnés (fermes, poutres et/ou nervure). Vous devez spécifier des valeurs pour les paramètres suivants :



Fermes $T_{référence}$ Température de référence de la référence (correspondant à l'état initial non contraint)
T - la température supposée pour l'analyse

$dT = T - T_{référence}$ est la variation de température qui est prise en compte dans l'analyse. Un dT positif signifie un réchauffement de la ferme.

Poutre/Nervure $T_{référence}$ Température de référence de la référence (correspondant à l'état initial non contraint)
T_1 la température de la fibre supérieur (dans la direction locale correspondante)
T_2 la température de la fibre inférieur (dans la direction locale correspondante)

$dT^{=} = T - T_{référence}$ est la variation uniforme de température prise en compte dans l'analyse, où *T est* la température de la section transversale dans son centre de gravité.
dans la direction *y* locale: $T = T_2 + (T_1 - T_2)\frac{y_G}{H_y}$
dans la direction *z* locale: $T = T_2(T_1 - T_2)\frac{z_G}{H_z}$

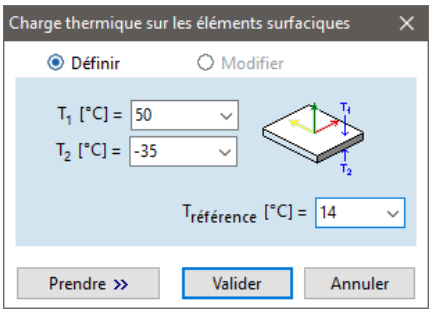
où,
y_G, z_G, et H_y, H_z sont des propriétés de la section transversale.
Un *dT*= positif indique une augmentation de la température de la poutre.

$dT^{\neq} = T_1 - T_2$ est la variation de température non uniforme qui est prise en compte dans l'analyse.

4.10.21. Charge thermique sur les éléments surfaciques

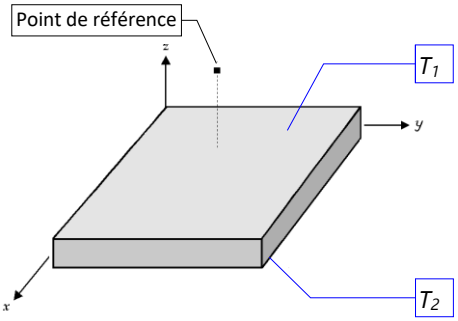


Cette commande vous permet d'appliquer des charges de température aux éléments surfacique sélectionnés. Vous devez spécifier des valeurs pour les paramètres suivants:
T *référence* Température de référence (correspondant à l'état initial non contraint)
T_1 la température du fibre supérieur (dans le sens positif du *z* local)
T_2 la température du fibre inférieur (dans le sens *z* local négatif)



$dT^{=} = T - T_{référence}$ est la variation uniforme de la température qui est prise en compte dans l'analyse, où T est la température au centre de gravité de la section transversale.

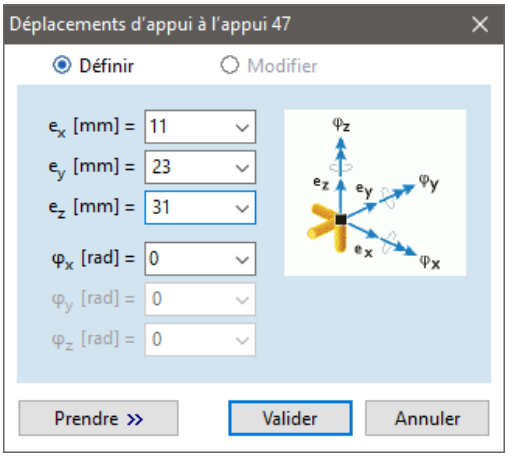
$dT^{\neq} = T_1 - T_2$ est la variation de température non uniforme qui est prise en compte dans l'analyse.



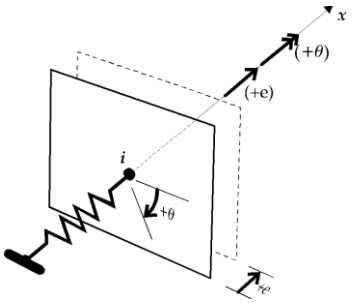
☞ ***Pour les membranes, seule la* dT= *est prise en compte. Pour les plaques, seul* dT# est pris en compte.**

4.10.22. Déplacement d'appui imposé

Permet d'appliquer des déplacements forcés aux éléments d'appui sélectionnés. Vous devez spécifier les valeurs des éléments de déplacement forcé (translation : *e[m]* ; rotation: *φ[rad]*).
AxisVM se rapproche du problème, en appliquant une force P_{appui} dans la direction de l'élément d'appui de manière à produire le déplacement forcé *e*.
$P_{appui} = K_{appui} \cdot e$,
où K_{appui} est la rigidité d'appui correspondante.

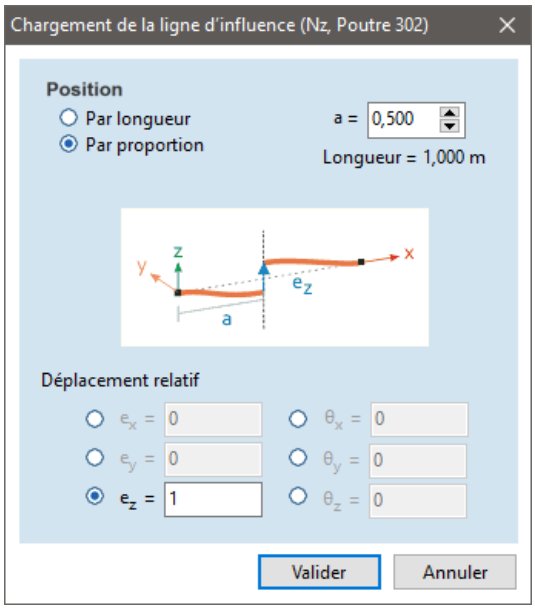


Si la rigidité de l'élément d'appui est suffisamment importante, les déformations secondaires dues aux autres charges seront négligeables. Par conséquent, vous pouvez appliquer des déplacements forcés uniquement aux appuis suffisamment rigides par rapport à la rigidité de la structure (au moins 10^3 fois plus grande) dans la direction correspondante. Vérifiez cette hypothèse à chaque fois, en vérifiant les résultats des déplacements et en vérifiant le déplacement au niveau du nœud respectif.
Un déplacement forcé positif déplace le nœud dans la direction positive de l'axe local.



4.10.23. Ligne d'influence

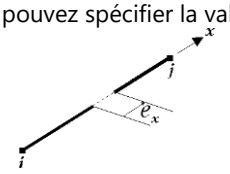
Permet d'appliquer une charge de déplacement relatif pour obtenir la ligne d'influence d'une composante de force interne, sur les fermes/ poutres sélectionnées.
Vous devez spécifier la valeur du déplacement relatif *e* comme étant +1 ou -1.



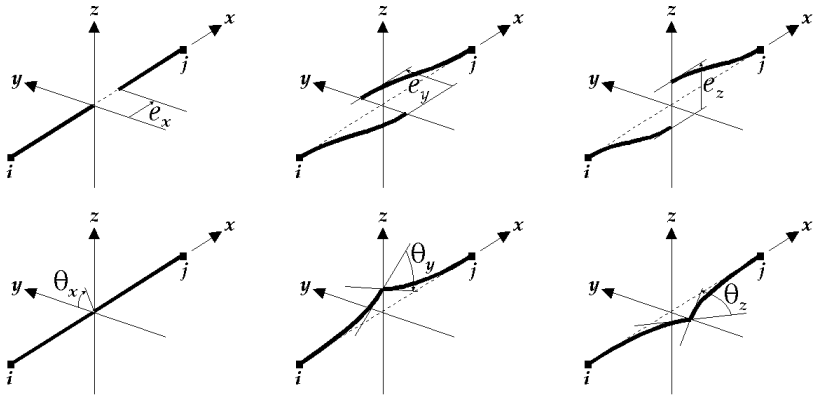
☞ **Vous pouvez définir la charge de la ligne d'influence, uniquement dans un cas de charge de type ligne d'influence.**

Voir... *4.10.1. Cas de charge, groupes de charges*

Ferme Vous pouvez spécifier la valeur du déplacement relatif ***ex*** comme +1 ou -1.



Poutre Vous pouvez spécifier la valeur du déplacement relatif $_{ex}$ / $_{ey}$ / ez / θ_x / θ_y / θ_z comme +1 ou -1.



4.10.24. Charges sismiques - module SE1



Le module SE1 comprend plusieurs outils qui facilitent l'exécution de l'Analyse du Spectre de Réponse Modale (ASRM) dans AxisVM. Les outils effectuent automatiquement la génération de la charges sismiques dans trois directions orthogonales pour chaque mode de vibration ; le calcul de la réponse structurelle pour chaque mode de vibration et la combinaison des réponses modales en un effet sismique directeur. Le guide suivant fournit des informations sur les paramètres et les options disponibles dans le programme et explique comment les utiliser. En raison de la vaste littérature sur l' ASRM, il n'est pas possible de fournir ici une explication théorique étape par étape de l'application d'une telle analyse.

Norme

Les calculs sont effectués conformément aux règles des normes générales Eurocode (en particulier l'Eurocode 8) complétées par l'annexe nationale qui correspond au code d'étude choisi par l'utilisateur. Les normes nationales suisses et hongroises, qui ne sont pas basées sur les Eurocodes, font exception à cette approche. Les normes du programme pour lesquelles le calcul de L'ASRM est disponible sont énumérées ci-dessous.

Eurocode général	*EN 1998-1:2004 (EC 8-1)* *Eurocode 8 Étude des structures pour la résistance aux tremblements de terre* *Première partie: Règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments*
CE Allemand	*EN 1998-1:2004 DIN EN 1998-1/les Annexes Nationales:2011-01*
CE Néerlandais	*NPR 9998:2018*
CE hongroise	*EN 1998-1:2004*
CE Roumain	*P100-1-2013*
CE Tchèque	*EN 1998-1:2004*
CE Slovaque	*EN 1998-1:2004*
CE Polonais	*EN 1998-1:2004*
CE Danois	*EN 1998-1:2004*
CE Autriche	*EN 1998-1:2004*
CE Britannique	*EN 1998-1:2004*
CE Finnois	*EN 1998-1:2004*
CE Norvégien	*EN 1998-1:2004* *NS EN 1998-1:2004/NA:2014*
CE belge	*EN 1998-1:2004*
CE Suédois	*EN 1998-1:2004*
CE Grec	*ELOT EN 1998-1*
NTC italien	*NTC 2018*
Suisse	*SIA 261:2003*
Norme nationale hongroise (MSZ)	
STAS roumain	
DIN 1045-1 allemand	*DIN 4149:2005-04*

Procédure ASRM

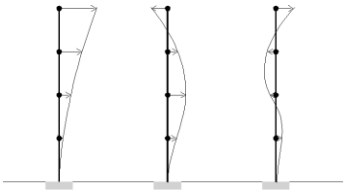
Les charges sismiques sont générées sur la base des formes des modes de vibration dans tous les norme. Les charges sont appliquées par une analyse statique linéaire et les effets de plusieurs modes de vibration sont combinés pour obtenir les forces internes d'étude et les déplacements de la structure.
De multiples actions sismiques peuvent être définies pour la structure. Ces actions ne peuvent pas être combinées.

Comment la réduction de la rigidité est appliquée

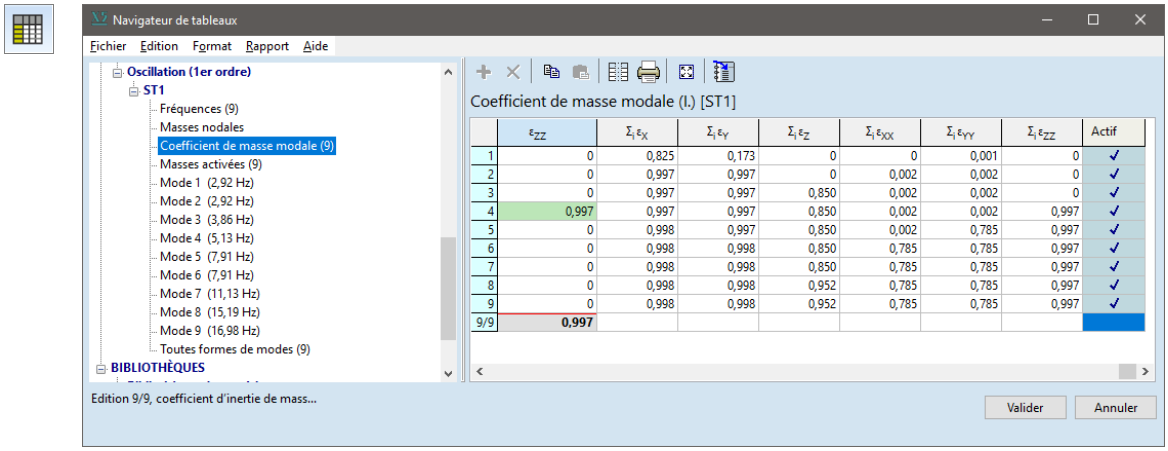
Si les formes modales utilisées pour générer les charges sismiques ont été obtenues à partir d'une analyse vibratoire *(6.3 Oscillation)*, en tenant compte de la réduction de rigidité spécifiée pour l'analyse du spectre de réponse (*3.3.10 Réduction de la rigidité*), alors l'analyse statique linéaire sera effectuée deux fois : une sans réduction de rigidité et une avec la réduction de rigidité spécifiée.
Les résultats sans réduction de la rigidité sont montrés dans les cas de charge non sismique et les combinaisons sans action sismique, tandis que les résultats avec réduction de la rigidité sont montrés dans les cas de charge sismique ou les combinaisons incluant une action sismique (la même chose s'applique aux enveloppes et aux combinaisons critiques).
Si vous avez calculé plusieurs résultats de vibration pour différentes combinaisons, certains avec réduction de la rigidité et d'autres sans, et que vous avez créé plusieurs charges sismiques, l'une générée à partir de formes calculées avec réduction de la rigidité et l'autre à partir de formes sans réduction de la rigidité, alors dans les cas de charge sismique ou dans les combinaisons incluant une action sismique, l'action sismique incluse déterminera quels résultats seront affichés. Si le cas de charge sismique a été généré à partir d'une forme obtenue avec une réduction de la rigidité, les résultats avec réduction de la rigidité seront affichés. Sinon, les résultats sans réduction de la rigidité seront affichés.
Les parties suivantes fournissent des détails sur le processus de calcul. Tout d'abord, la procédure générale de l'Eurocode est présentée, suivie d'un résumé des modifications spécifiques à chaque pays.

4.10.24.1. Calcul de la charges sismiques selon l'Eurocode 8

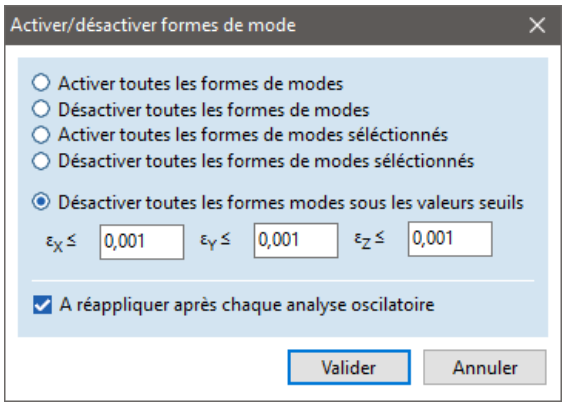
1. Calculer les modes de vibration



La génération de charges sismiques nécessite des informations sur les fréquences de vibrations libres non amorties et les formes de mode correspondantes. Ainsi, la première étape de la création de charges sismiques consiste à calculer un nombre suffisamment important de formes de mode et de fréquences de vibration correspondantes. Cette analyse est effectuée dans l'onglet Vibration *4.10.1. Cas de charge, groupes de charges*
L'analyse des vibrations de premier ordre est généralement suffisante pour générer une charge sismique. Les résultats dépendent de la rigidité des éléments structuraux et de la répartition de la masse de la structure. Les masses peuvent être déterminées sur la base d'une combinaison de charges prédéfinie qui représente la masse dite sismique de la structure. L'utilisateur peut également placer des masses regroupées dans le projet structurel. La réduction de la rigidité des éléments en béton armé peut également être prise en compte automatiquement.
Utilisez le tableau des *facteurs de masse modale* dans le *navigateur de tableaux pour* vérifier si le nombre de modes de vibration calculés est suffisamment important pour satisfaire aux exigences de la norme applicable. L'Eurocode 8 général comporte deux exigences: (1) la masse modale totale considérée dans chaque direction doit dépasser 90 % de la masse totale ; (2) toutes les formes de mode correspondant à une masse modale supérieure à 5 % de la masse totale doivent être prises en considération. Les sommes des facteurs de masse modale sont indiquées au bas du tableau.



L'utilisateur peut indiquer quelles formes de mode doivent être utilisées pour la génération de la charges sismiques en cochant la colonne *Active du* tableau.

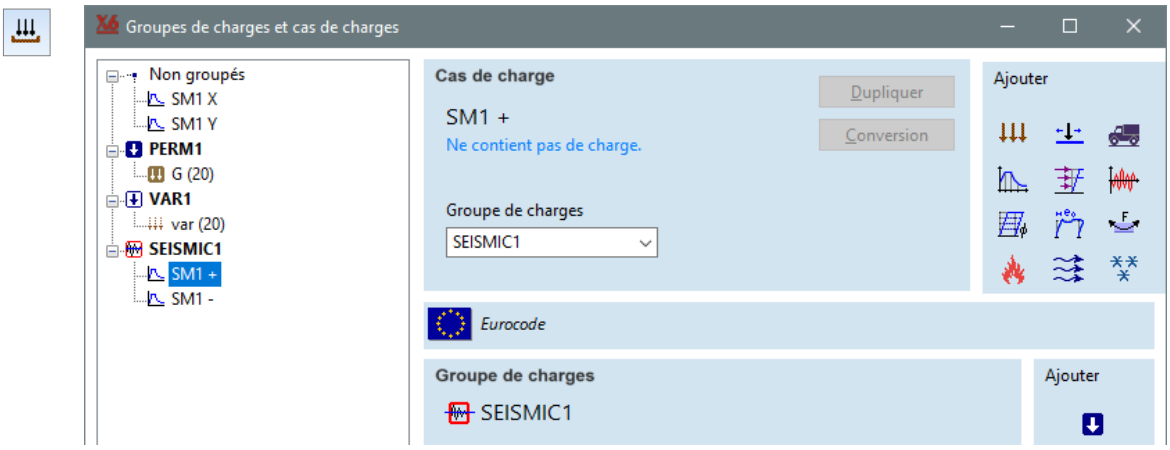


Un clic droit sur n'importe quelle cellule de la colonne Active déclenche un menu contextuel, dans lequel le dialogue des *formes du mode Activer/Désactiver* peut être sélectionné. Cette fenêtre de dialogue permet à l'utilisateur de définir des valeurs de seuil pour le filtrage automatique des formes en mode dans chaque direction. La case à cocher en bas de la fenêtre permet à l'utilisateur de demander un filtrage automatique après chaque analyse de vibration.

Les formes des modes de filtrage peuvent réduire considérablement le nombre de cas de charges sismiques et, par conséquent, le temps nécessaire à l'analyse statique.

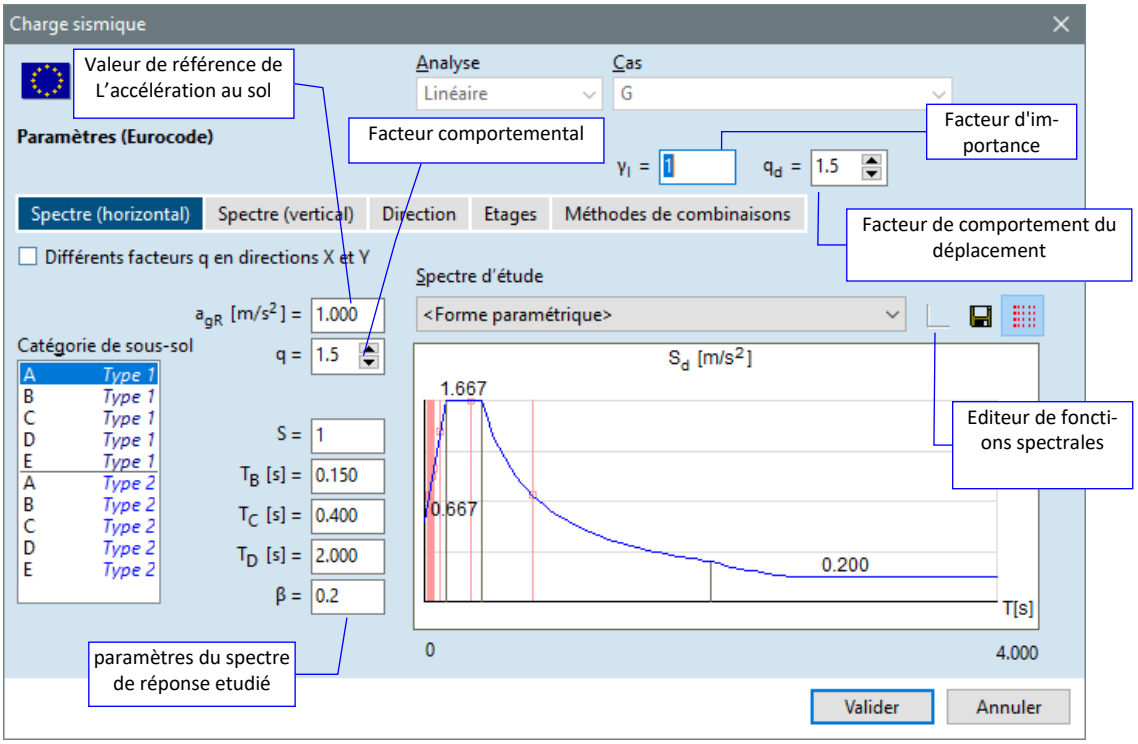
2. Créer un nouveau cas de charges sismiques

Une fois les formes de mode disponibles, le cas de charges sismiques doit être créé dans l'onglet *Charges de la* fenêtre de dialogue Cas de charge *et groupes de charges.* Sélectionnez le cas de charges sismiques parmi les icônes des *nouveaux cas*. Le programme créera automatiquement plusieurs nouveaux cas de charge pour la charge sismique et ceux-ci seront complétés par d'autres après avoir défini les détails de la génération de la charges sismiques. Les modalités de dénomination des cas de charge sont expliquées dans la partie analyse statique de cette section transversale.



3. Définir les paramètres de charges sismiques

Sélectionnez l'un des cas de charges sismiques générés et cliquez sur l'icône Charges sismiques dans l'onglet Charges pour ouvrir la fenêtre de dialogue *Charges sismiques.*



Spectre (horizontal)

Le premier onglet de la fenêtre de dialogue permet à l'utilisateur de définir les détails du **spectre de réponse horizontal**. Le spectre de réponse horizontal est utilisé pour calculer les charges statiques équivalentes pour chaque forme de mode de vibration dans deux directions horizontales / orthogonales. Le spectre peut soit être généré automatiquement à l'aide des fonctions données dans EC8-1 4.2.4 et des paramètres fournis par l'utilisateur, soit un spectre personnalisé peut être défini dans l'*éditeur de fonctions spectrales*.

Editeur de fonctions spectrales pour créer des spectres personnalisés

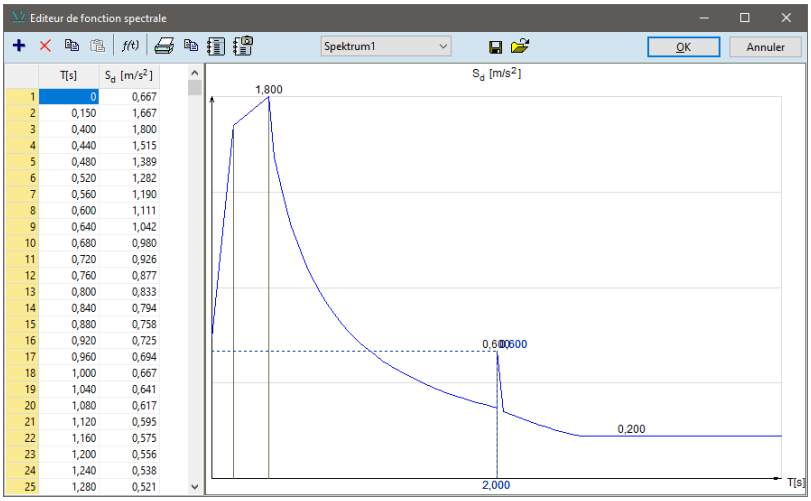
Sauvegarder le spectre comme...

Affichage de la période de temps des formes modales calculées : Activation/désactivation de l'affichage des périodes de temps fournies par l'analyse des vibrations. Les périodes sont marquées par une ligne rose verticale à la valeur T respective.

Le spectre généré automatiquement utilise les paramètres suivants :
a_{gR} - Accélération maximale de référence du sol sur la roche m/s^2
q - Facteur de comportement pour la réduction des effets sismiques horizontaux selon la norme CE 8-1 3.2.2.5 (3)P. Après avoir vérifié *différents facteurs q dans les directions X et Y, des* valeurs q_X et q_Y indépendantes peuvent être définies par l'utilisateur.
S, T_B, T_C, T_D - Paramètres spécifiques au sol qui définissent la forme spectrale. Si le type de sol est sélectionné dans la liste des classes de sol, ces paramètres sont automatiquement chargés conformément aux tableaux 3.2 et 3.3 de la directive CE 8-1. Chaque valeur peut être écrasée par l'utilisateur.
β - Facteur de limite inférieure pour le spectre d'étude horizontale. La valeur recommandée dans EC 8-1 3.2.2.5 (4)P est de 0,2.
γ_I - Facteur d'importance selon CE 8-1 4.2.5
q_d - Facteur de comportement de déplacement selon EC 8-1 4.3.4 (1)P

Si le projet contient des isolateurs sismiques, un spectre modifié est utilisé. Voir... *4.9.19. Isolateurs sismiques*

Les spectres personnalisés sont définis dans l'*éditeur* de *fonctions spectrales* après avoir réglé le *spectre d'étude de la forme paramétrique* à *personnalisée*. Les spectres sont créés dans l'éditeur par une approximation linéaire par morceaux de la forme spectrale sur une liste de paires de coordonnées prédéfinies de période naturelle - accélération spectrale.
Les coordonnées peuvent être éditées, copiées ou collées à partir d'autres programmes.



Spectre (vertical)

Le deuxième onglet de la fenêtre de dialogue *Charges sismiques* correspond aux paramètres du **spectre de réponse vertical**. Notez que l'effet de l'excitation sismique dans la direction verticale (Z) n'est pris en compte que si un spectre de réponse vertical est défini. Les charges verticales ne sont pas générées par défaut. Les paramètres et la disposition de cet onglet sont identiques à ceux du premier.

Direction

Un troisième onglet est *Direction* où l'angle de l'action sismique peut être défini. Si cette valeur est différente de zéro, les charges sismiques seront générées non pas dans les directions globales X et Y mais dans les directions X* et Y* à l'angle α pour ajouter les directions globales.

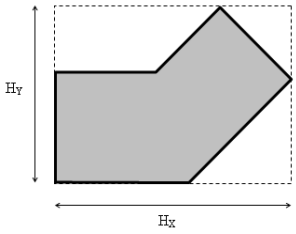
Etages

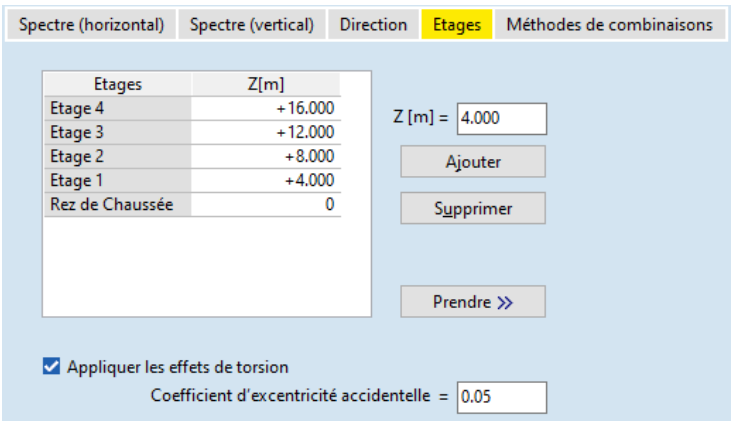
Le quatrième onglet est *Etages*. Il permet à l'utilisateur de décider si les **effets de torsion** dus à une excentricité accidentelle doivent être pris en compte. Si l'utilisateur souhaite prendre en compte de tels effets, le programme calcule alors des moments de torsion supplémentaires autour de l'axe vertical pour chaque étage et chaque forme de mode. L'ampleur des moments de torsion dépend de la charge horizontale et de l'excentricité de chaque étage.
Les charges horizontales sont récupérées à partir des cas de charge correspondant à chaque mode de vibration et à chaque direction horizontale.
La taille de l'excentricité par rapport à la taille totale de chaque étage est définie par l'utilisateur. Une excentricité accidentelle de 5 % est recommandée dans la norme EC 8-1 4.3.2 (1)P.

Les moments de torsion sont calculés à l'aide des expressions suivantes:

$$T_{X,i,j} = F_{X,i,j} \cdot (\pm e H_{Y,i})$$
$$T_{Y,i,j} = F_{Y,i,j} \cdot (\pm e H_{X,i})$$

où *F est* la force horizontale en mode *j* au i^{ème} étage ; *H* est la taille du i^{ème} étage dans la direction X ou Y donnée. Les moments de torsion sont considérés avec les signes + ou -, mais toujours avec le même signe dans tous les étages.

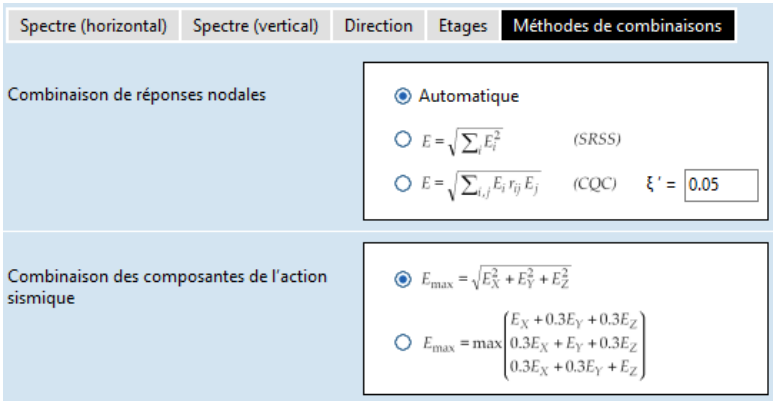




Méthodes de combinaisons

Le dernier onglet de la fenêtre de dialogue *Charges sismiques* permet de contrôler la combinaison des résultats pour les différents modes et les différentes directions. Les résultats des modes individuels peuvent être combinés en utilisant soit la méthode de la racine carrée de la somme des carrés (RCSC), soit la méthode de la combinaison quadratique complète (CQC). Cette dernière est considérée comme plus appropriée si les modes de vibration de la structure ne sont pas bien séparés (c'est-à-dire si les fréquences de vibration sont proches les unes des autres).
La sélection de l'option automatique permet au programme de décider automatiquement si l'application de la méthode CQC est justifiée par les résultats des vibrations. Le programme considère que les modes *i* et *j sont* bien séparés si la condition suivante est remplie : *Tj* / *Ti* < 0,9.
Les résultats dans les deux directions horizontale et verticale peuvent être combinés en utilisant l'une des deux méthodes de combinaison couramment utilisées affichées dans la fenêtre de dialogue.
Les effets sismiques dans différentes directions peuvent également être résumés manuellement en créant une combinaison de charges personnalisée. SMX, SMY et SMZ et les cas de charge qui y sont liés (voir ci-dessous) sont également disponibles dans le tableau des combinaisons de charge, voir... *4.10.2. Combinaisons de charges*.

☞ **Attention ! Les cas de charge multiples appartenant à la même direction ou les cas de charge SMX, SMY, SMZ et SM+/- ne doivent pas être pris en compte collectivement dans la même combinaison.**



Une fois les paramètres de charge définis et la fenêtre de dialogue *Charges sismiques* fermée en cliquant sur le bouton VALIDER, le programme génère un cas de charge pour chaque mode et direction selon les paramètres définis par l'utilisateur. La convention d'appellation suivante est utilisée pour ces cas de charge :
Les cas de charge se terminant par **01X, 02X, ...nX, 01Y, 02Y, ...nY, 01Z, 02Z, ...nZ** sont les forces équivalentes dans la direction X, Y ou Z correspondant à des formes de mode individuelles.
Les cas de charge se terminant par **01tX, 02tX, ...ntX, 01tY, 02tY, ...ntY** sont les moments de torsion dus à une excentricité accidentelle dans la direction X ou Y.

4. Effectuer une analyse statique linéaire et évaluer les résultats

L'analyse du spectre de réponse modale utilise une combinaison de résultats d'analyse statique linéaire pour obtenir les effets sismiques d'étude de la structure considérée. Après avoir créé les cas de charge pour chaque mode de vibration dans chaque direction, l'étape suivante de la procédure ASRM consiste à effectuer les analyses statiques linéaires. Le programme calculera automatiquement l'effet de chaque mode dans chaque direction et combinera ces effets en fonction des paramètres de la fenêtre de dialogue Charges sismiques.

Après avoir effectué des analyses statiques linéaires, plusieurs cas de charges sismiques sont disponibles dans la liste des résultats sous l'onglet *Statique*. Nous utilisons la convention d'appellation suivante pour les cas de charges sismiques :
Outre les cas de charge correspondant à des modes individuels, il existe deux types de résultats supplémentaires. Les noms de cas de charge se terminant par **X**, **Y** ou **Z** contiennent la réponse combinée des résultats modaux dans la direction X, Y ou Z. Si l'on considère l'excentricité accidentelle, il y a un **a** ou un **b** supplémentaire dans le nom des cas de charge correspondant aux directions horizontales. Les lettres a ou b correspondent à des effets de torsion avec excentricité positive ou négative, respectivement. **Ya** par exemple est une combinaison de résultats modaux dans la direction Y considérant l'effet de l'excentricité positive des masses sismiques dans la direction X.
La combinaison des cas de charge dans les directions X, Y, Z est effectuée par le programme automatiquement. Une telle combinaison donne un résultat unique et unanime s'il n'y a pas d'excentricité accidentelle. Si l'on suppose une excentricité accidentelle, la combinaison d'effets provenant de plusieurs directions est plus ambiguë. Le programme considère quatre cas de base en fonction de la direction de l'excentricité dans les cas de charge X et Y. Chacune des combinaisons suivantes est effectuée et stockée dans un cas de charge dont le nom se termine par le numéro particulier :

1 = Xa + Ya + Z
2 = Xa + Yb + Z
3 = Xb + Ya + Z
4 = Xb + Yb + Z

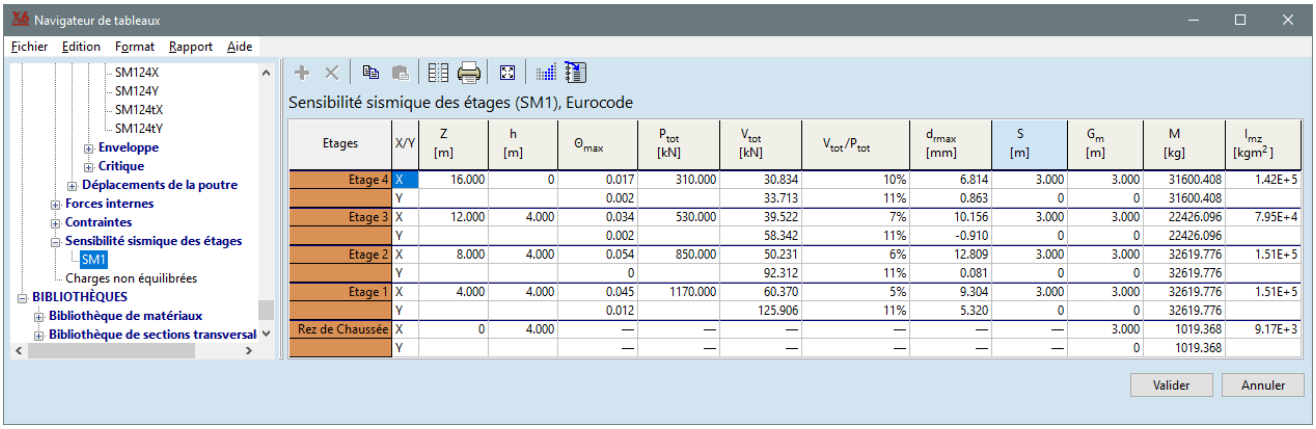
Les résultats de L'ASRM sont des valeurs absolues par définition. Par conséquent, les cas de charge présentés ci-dessus ne contiendraient que des valeurs positives. Le scénario de chargement le moins favorable est une combinaison d'effets sismiques et d'effets provenant d'autres sources telles que le chargement par gravité.

La création de cette combinaison de charge est facilitée dans le programme par la fourniture de deux cas de charge pour chaque charge sismique : les effets sismiques ne contenant que des valeurs positives et les effets sismiques ne contenant que des valeurs négatives sont identifiés par **un signe + et un signe - à la** fin du nom de leur cas de charge. Il est à noter que les valeurs absolues des réponses correspondantes (forces internes, déplacements, etc.) sont identiques dans les cas de charge + et -.
Les résultats des déplacements indiqués dans l'*onglet Statique* sont automatiquement mis à l'échelle par le facteur qd spécifié dans la fenêtre de dialogue Charges sismiques.



Les effets de second ordre dus à la non-linéarité géométrique sont pris en considération lors de l'évaluation des résultats de L'ASRM. Le programme appui ces calculs avec les données du tableau de la *sensibilité sismique des étages* dans le *navigateur de tableaux*. Des résultats indépendants sont disponibles dans le tableau pour chaque direction horizontale.
Les quantités suivantes sont calculées par le programme :

- θ_{max} - *indice de stabilité plastique, également connu sous le nom de coefficient de sensibilité à la dérive inter-étage selon EC8-1 4.4.2.2 (2)*
- P_{tot} - charge gravitationnelle totale au-dessus de l'étage
- V_{tot} - effort tranchant total de l'étage sismique
- d_{max} -déplacement de l'étage en étude calculé comme le déplacement relatif des centroïdes de l'étage correspondant
- S - emplacement du centre de cisaillement
- G_m - localisation du centroïde
- M - masse de l'étage
- I_{mz} - moment d'inertie au niveau du centroïde autour de l'axe Z



Etages	X/Y	Z [m]	h [m]	Θ_{max}	P_{tot} [kN]	V_{tot} [kN]	V_{tot}/P_{tot}	d_{rmax} [mm]	S [m]	G_m [m]	M [kg]	I_{mz} [kgm²]
Etage 4	X	16.000	0	0.017	310.000	30.834	10%	6.814	3.000	3.000	31600.408	1.42E+5
	Y			0.002		33.713	11%	0.863	0	0	31600.408	
Etage 3	X	12.000	4.000	0.034	530.000	39.522	7%	10.156	3.000	3.000	22426.096	7.95E+4
	Y			0.002		58.342	11%	-0.910	0	0	22426.096	
Etage 2	X	8.000	4.000	0.054	850.000	50.231	6%	12.809	3.000	3.000	32619.776	1.51E+5
	Y			0		92.312	11%	0.081	0	0	32619.776	
Etage 1	X	4.000	4.000	0.045	1170.000	60.370	5%	9.304	3.000	3.000	32619.776	1.51E+5
	Y			0.012		125.906	11%	5.320	0	0	32619.776	
Rez de Chaussée	X	0	4.000	—	—	—	—	—	—	3.000	1019.368	9.17E+3
	Y			—	—	—	—	—	—	0	1019.368	

AxisVM ne tient pas compte automatiquement de l'influence des effets de second ordre par l'amplification des forces internes. L'utilisateur doit évaluer la sensibilité de la structure à de tels effets. Si l'influence des effets du second ordre peut être prise en considération par l'amplification de la force, l'utilisateur doit déterminer la valeur appropriée du facteur d'amplification conformément au point 4.4.2.2 (3) de la norme EC8-1. Ce facteur d'amplification peut être spécifié dans le programme comme le facteur f_{se} *dans* les outils d'étude suivants :

6.5.1. Paramètres des armatures surfaciques et calcul des armatures - module RC1
6.5.8. Calcul de la résistance à l'effort tranchant des armatures des plaques et des coques

6.5.9. Armatures de poteau - module RC2

6.5.10 Étude de poteaux composites - module RC2

6.5.3 Paramètres d'armatures de flexion uni-axiale (poutre)

6.5.13 Analyse de poinçonnement - module RC3

6.5.14 Étude de la semelle de fondation - module RC4

6.5.15 Étude de noyaux et de murs en B.A. - module RC5

6.6 Étude acier

6.7 Étude bois

6.8 Étude des domaines XLAM - module XLM

6.9 Étude de murs en maçonnerie - module MD1

Le facteur fse ne prend en compte que les forces internes dues à la charge sismique.

4.10.24.2. Calcul de la charges sismiques selon la norme suisse SIA 261



La procédure de calcul, les fenêtres de dialogue, les hypothèses et les caractéristiques sont identiques à celles présentées dans la section transversale générale de l'Eurocode 8. Les paragraphes suivants n'énumèrent que les modifications qui sont propres à la norme SIA 261.

3. Définir les paramètres de charges sismiques

Les modifications suivantes sont appliquées à la fenêtre de dialogue *Charges sismiques :*

- Les spectres de réponse horizontaux et verticaux sont basés sur la norme SIA261 16.2.4.
- Les paramètres spécifiques au sol sont définis selon le tableau 25 de la norme SIA261.

4.10.24.3. Calcul de la charges sismiques selon la norme allemande EC8-1 les Annexes Nationales



La procédure de calcul, les fenêtres de dialogue, les hypothèses et les caractéristiques sont identiques à celles présentées dans la section transversale générale de l'Eurocode 8. Les paragraphes suivants n'énumèrent que les modifications propres à la norme DIN EN 1998-1/les Annexes Nationales (EC8-1 les Annexes Nationales).

3. Définir les paramètres de charges sismiques

Les modifications suivantes sont appliquées à la fenêtre de dialogue *Charges sismiques :*

- Les spectres de réponse horizontaux et verticaux sont basés sur la norme EC8-1 les Annexes Nationales NDP 3.2.2.5(4)P.
- Les paramètres spécifiques au sol sont fixés conformément aux tableaux les Annexes Nationales.4 et les Annexes Nationales.5 de la norme EC8-1 les Annexes Nationales.

4.10.24.4. Calcul de la charges sismiques selon la norme italienne NTC 2018



La procédure de calcul, les fenêtres de dialogue, les hypothèses et les caractéristiques sont identiques à celles présentées dans la section transversale générale de l'Eurocode 8. Les paragraphes suivants n'énumèrent que les modifications qui sont propres à la dernière norme NTC.

3. Définir les paramètres de charges sismiques

Les modifications suivantes sont appliquées à la fenêtre de dialogue *Charges sismiques :*

- Les spectres de réponse horizontaux et verticaux sont basés sur le NTC 2018 3.2.3.2.
- Les paramètres spécifiques au sol sont fixés conformément aux tableaux 3.2.V-VII du NTC 2018 3.2.3.2.
- Si le projet contient des isolateurs sismiques, un spectre modifié est utilisé, en fonction de l'état limite (SLO, SLD, SLV, SLC) défini dans le dialogue des paramètres sismiques conformément à la norme NTC 2018 3.2.1. Voir... *4.9.19. Isolateurs sismiques.* Comme plusieurs actions sismiques peuvent être définies pour le même projet, les résultats sismiques obtenus pour différents états limites peuvent être comparés.
- Les résultats du système d'isolateurs sismiques sont disponibles dans un tableau séparé.

4.10.24.5. Calcul de la charges sismiques selon la norme roumaine P100-1



La procédure de calcul, les fenêtres de dialogue, les hypothèses et les caractéristiques sont identiques à celles présentées dans la section transversale générale de l'Eurocode 8. Les paragraphes suivants n'énumèrent que les modifications qui sont propres à la norme P100-1.

3. Définir les paramètres de charges sismiques

Les modifications suivantes sont appliquées à la fenêtre de dialogue *Charges sismiques :*

- Les spectres de réponse horizontaux et verticaux sont basés sur P100-1 3.1(7), 3.1(13) et 3.2(1).

4.10.24.6. Calcul de la charges sismiques selon la norme néerlandaise NPR 9998:2018



La procédure de calcul, les fenêtres de dialogue, les hypothèses et les caractéristiques sont identiques à celles présentées dans la section transversale générale de l'Eurocode 8. Les paragraphes suivants n'énumèrent que les modifications qui sont propres à la norme NPR 9998:2018.

3. Définir les paramètres de charges sismiques

Les modifications suivantes sont appliquées à la fenêtre de dialogue *Charges sismiques :*

- Les spectres de réponse horizontaux et verticaux sont basés sur la norme NPR 9998:2018 3.2.2.2.3.

Les paramètres $_{ag;d}$ accélération et p, $_{TB}$, TC, $_{TD}$ doivent être spécifiés par l'utilisateur selon le code ou le code conforme à l'outil web NPR 9998.

4.10.25. Charge de poussée - module SE2



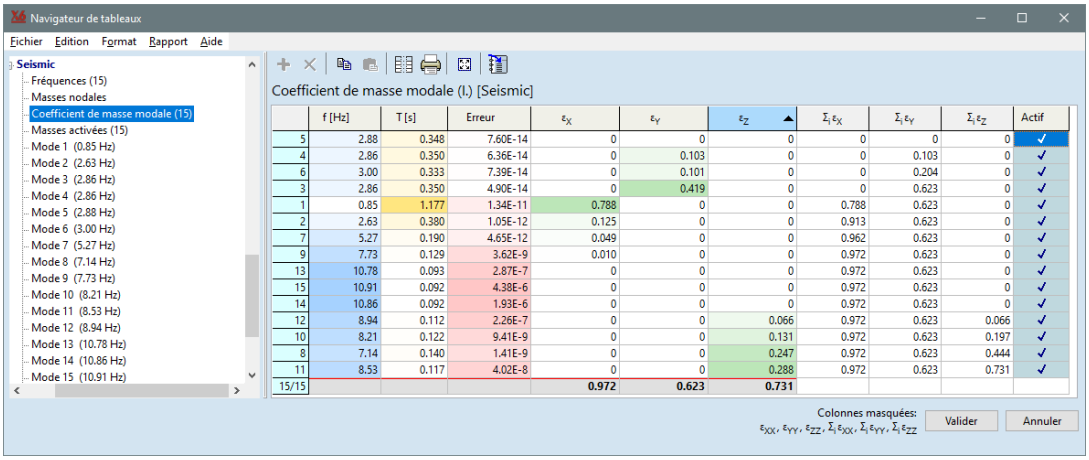
Par défaut, les charges de poussée sont générées conformément aux règles de l'Eurocode 8 (EN 1998-1:2004). La génération de la charge utilise des fréquences de vibration libre non amorties et les formes de mode correspondantes du projet, par conséquent les charges ne peuvent être générées que si une analyse des vibrations a déjà été effectuée.

Étapes de la génération de la charge de poussée

La description suivante montre comment créer des cas de charge de poussée et définir leurs propriétés avant d'effectuer une analyse statique non linéaire.

1. Calculer les formes et les fréquences des modes de vibration.
Lors de l'analyse des vibrations, veillez à utiliser l'option de conversion des charges en masses avec le cas de charge approprié si des charges définies doivent être considérées comme statiques. Consultez le tableau des *facteurs de masse modale* dans le navigateur de tableaux. Les résultats de l'analyse des vibrations n'apparaîtront que si l'onglet Vibration est sélectionné.





	f [Hz]	T [s]	Erreur	ε_X	ε_Y	ε_Z	$\Sigma_i \varepsilon_X$	$\Sigma_i \varepsilon_Y$	$\Sigma_i \varepsilon_Z$	Actif
5	2.88	0.348	7.60E-14	0	0	0	0	0	0	✓
4	2.86	0.350	6.36E-14	0	0.103	0	0	0.103	0	✓
6	3.00	0.333	7.39E-14	0	0.101	0	0	0.204	0	✓
3	2.86	0.350	4.90E-14	0	0.419	0	0	0.623	0	✓
1	0.85	1.177	1.34E-11	0.788	0	0	0.788	0.623	0	✓
2	2.63	0.380	1.05E-12	0.125	0	0	0.913	0.623	0	✓
7	5.27	0.190	4.65E-12	0.049	0	0	0.962	0.623	0	✓
9	7.73	0.129	3.62E-9	0.010	0	0	0.972	0.623	0	✓
13	10.78	0.093	2.87E-7	0	0	0	0.972	0.623	0	✓
15	10.91	0.092	4.38E-6	0	0	0	0.972	0.623	0	✓
14	10.86	0.092	1.93E-6	0	0	0	0.972	0.623	0	✓
12	8.94	0.112	2.26E-7	0	0	0.066	0.972	0.623	0.066	✓
10	8.21	0.122	9.41E-9	0	0	0.131	0.972	0.623	0.197	✓
8	7.14	0.140	1.41E-9	0	0	0.247	0.972	0.623	0.444	✓
11	8.53	0.117	4.02E-8	0	0	0.288	0.972	0.623	0.731	✓
15/15				**0.972**	**0.623**	**0.731**				

Bien que l'Eurocode 8 n'impose pas de valeur minimale pour le coefficient d'équivalence sismique, il est fortement conseillé de ne procéder à une analyse standard par poussée que sur les structures ayant des formes de mode clairement dominantes dans chaque direction horizontale. Les coefficients pour chaque forme de mode sont énumérés dans le tableau des *facteurs de masse modale*. Contrairement aux charges sismiques, la génération de charges de poussée standard utilise une seule forme de mode de vibration pour chaque cas de charge, par conséquent la somme des coefficients d'équivalence sismique n'est pas importante. Il n'est donc pas nécessaire de calculer un grand nombre de modes si les modes dominants font partie des premiers.

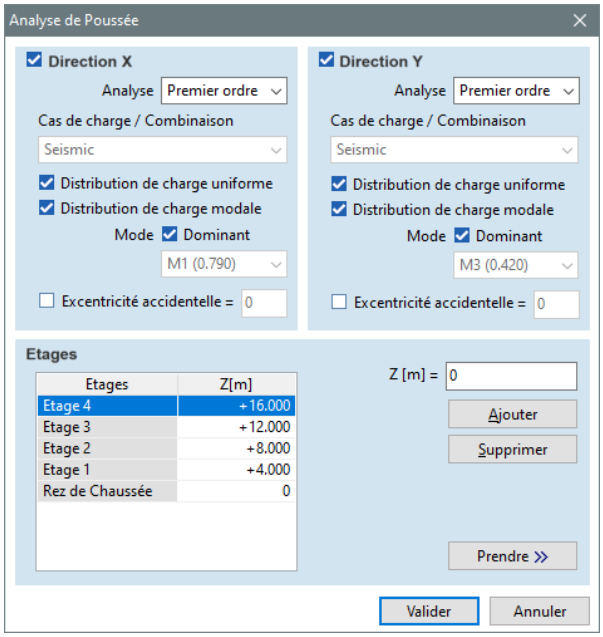


2. Créer un nouveau cas de charge de poussée.

Les cas de charge de poussée peuvent être créés, renommés et supprimés dans la fenêtre de *dialogue Cas de charge et groupes de charge*. La configuration initiale de quatre cas de charge est créée en cliquant sur le bouton *Charge de poussée*.

3. Réglage des paramètres de la charge de poussée.

Après avoir créé les cas de charge, les paramètres des charges peuvent être configurés en cliquant sur le bouton d'*analyse Poussée dans* la barre d'outils de l'onglet *Charges*.



Les paramètres de génération de la charge peuvent être définis en haut, tandis que les niveaux d'étage utilisés pour le calcul de la dérive d'un étage sont spécifiés dans la partie inférieure de la fenêtre. (Les données d'étage précédemment définies sont également disponibles ici)
La génération de charge pour une direction spécifique peut être désactivée en utilisant les cases à cocher du haut. Ceci est utile dans le cas où le projet est bidimensionnel. Pour chaque direction, il faut d'abord sélectionner le type d'analyse de vibration et le cas de charge attribué. Les cases à cocher ci-dessous activent ou désactivent respectivement la génération de charge uniforme et modale. L'option de répartition uniforme de la charge génère des forces nodales proportionnelles aux masses assignées à chaque nœud du projet. La répartition modale de la charge utilise la forme du mode pesée par les masses à chaque nœud pour générer la répartition des forces nodales. Dans les deux cas, la somme des forces générées est de *1 kN* dans la même direction horizontale.
Si des charges modales doivent être générées, il est possible d'outrepasser la forme de mode dominante utilisée pour la génération de la charge. Il est important de souligner que cette option est réservée aux utilisateurs avancés et que l'Eurocode 8 exige l'exploitation de la forme du mode dominant pour l'analyse. Le nombre entre parenthèses de chaque numéro de mode indique le coefficient d'équivalence sismique correspondant.

Il est également possible d'inclure les effets des excentricités accidentelles et les moments de torsion qui en résultent. AxisVM calcule le système de force équivalent aux moments de torsion pour chaque étage.
La somme des charges de poussée signées sera toujours de 1 kN mais la force résultante sera excentrique et causera une torsion.

Les chargements de poussée ne sont générés qu'après la fermeture de la fenêtre de dialogue. Les cas de charge inutiles sont également supprimés à ce moment.

4. Effectuer une analyse statique non linéaire

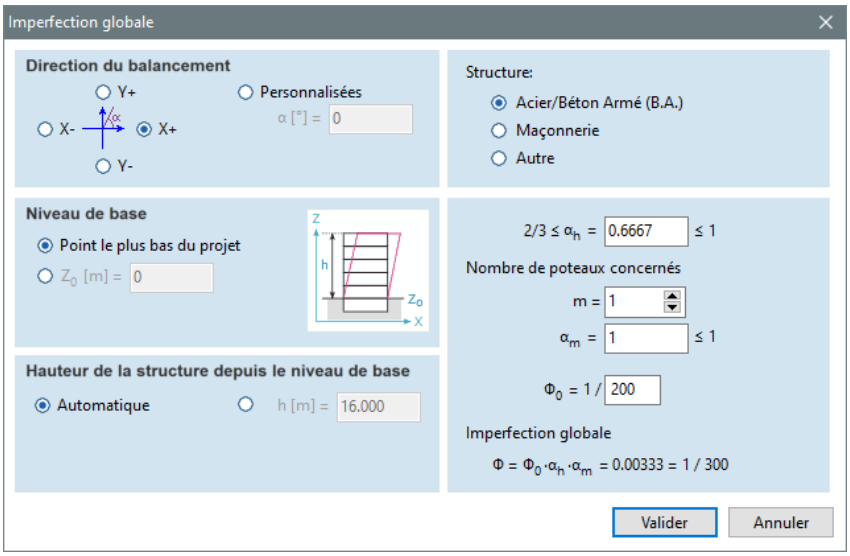
Après avoir défini les charges pour les cas de charge de poussée, l'analyse de poussée doit être exécutée en utilisant le bouton Analyse statique non linéaire sous l'onglet Statique de la fenêtre principale. Le réglage de la commande de solution sur Poussée permet à l'utilisateur de sélectionner un cas de charge paramétrique et un cas de charge constante. Le cas de charge paramétrique est typiquement un cas de charge en mode "Poussée", cependant AxisVM permet aux utilisateurs de définir d'autres cas de charge comme paramétriques également. Le cas de charge constante représente des charges gravitationnelles dans la plupart des cas. Les autres paramètres de cette fenêtre de dialogue sont expliqués dans le chapitre *6.1 Statique*

Le nœud de contrôle doit être l'un des nœuds situés au sommet de la structure. Il est important de définir la direction de l'analyse en fonction de la direction du cas de charge paramétrique. La stabilité de l'analyse peut être augmentée de manière significative en augmentant le nombre d'incréments. Il est recommandé de suivre la non-linéarité géométrique pour les analyses de type "Poussée". L'analyse est lancée en cliquant sur le bouton VALIDER.

La génération des courbes de capacité et les résultats associés sont expliqués dans le chapitre *6.1.4. Courbes de capacité de poussée*

4.10.26. Imperfection globale





Après avoir sélectionné un cas de charge d'imperfection, l'icône ci-dessus pour la charge d'imperfection devient active. Après avoir défini les paramètres d'imperfection, l'imperfection globale est appliquée à la structure (son amplitude affichée est agrandie pour la rendre plus visible).
Les cas de charge d'imperfection peuvent contribuer aux combinaisons de charges utilisées pour effectuer des analyses avec non-linéarité géométrique. Les nœuds seront déplacés de leur position d'origine et les autres charges de la combinaison seront appliquées à la structure déformée.

Paramètres L'imperfection globale requiert les paramètres suivants.

Sens du balancement Définit la direction du changement. Il peut agir
- Dans la direction globale *X* ou *Y*
- Dans un angle α *personnalisé* mesuré à partir de l'axe X global

Niveau de base C'est le niveau Z_0 où le balancement commence. Deux options sont disponibles
- Réglez-le sur le *point le plus bas du projet*
- Réglez le niveau Z_0 personnalisé

Hauteur de la structure par rapport au niveau de base La hauteur de la structure est mesurée à partir du niveau de base Z_0. Les options disponibles sont
- Le fixer à partir du point le plus élevé du projet
- Régler une valeur *h* personnalisée

Inclinaison L'inclinaison est calculée des manières suivantes :

Acier/Béton armé

$$\Phi = \Phi_0 \alpha_h \alpha_m$$

Où

α_h est un facteur de réduction: $\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{(h[m])}}$ avec $\frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1$

α_m est un facteur de réduction: $\alpha_m = \sqrt{0.5\left(1+\frac{1}{m}\right)}$ où *m est* le nombre de poteaux concernées par niveau

Maçonnerie

$$\nu = \frac{1}{100\sqrt{h}}$$

Autres * Une valeur arbitraire peut être spécifiée par l'utilisateur

4.10.27. Imperfections géométriques basées sur des formes de flambement.



Le seul paramètre de ces cas de charge est une imperfection basée sur les formes de flambage. Lorsqu'une combinaison de charges contient un cas de charge d'imperfection, AxisVM calcule avec une géométrie imparfaite. Bien que les cas de charge d'imperfection basés sur des formes de flambage puissent être créés, supprimés et édités, les cas de charge utilisant des formes imparfaites sont créés et supprimés automatiquement selon la définition et la suppression des formes imparfaites.
Pour la définition de la géométrie imparfaite, voir... *6.2.1 Création d'une géométrie imparfaite à partir de formes de flambement - module IMP*

4.10.28. Tension - module PS1

Les câbles peuvent être affectés à une sélection continue d'éléments de poutre, de nervures ou de domaines. Après avoir défini les propriétés du câble et le processus de mise en tension, AxisVM détermine la répartition des contraintes dans les câbles immédiatement après l'ancrage et les charges équivalentes à la fin de la mise en tension (nom du cas de charge-T0). Après avoir effectué une analyse statique, le programme détermine les pertes de tension en fonction du temps et les charges équivalentes à long terme à partir du résultat des combinaisons quasi-permanentes (nom du cas de charge-TI). Les tableaux de trajectoires des câbles peuvent être générés avec des étapes définies par l'utilisateur.

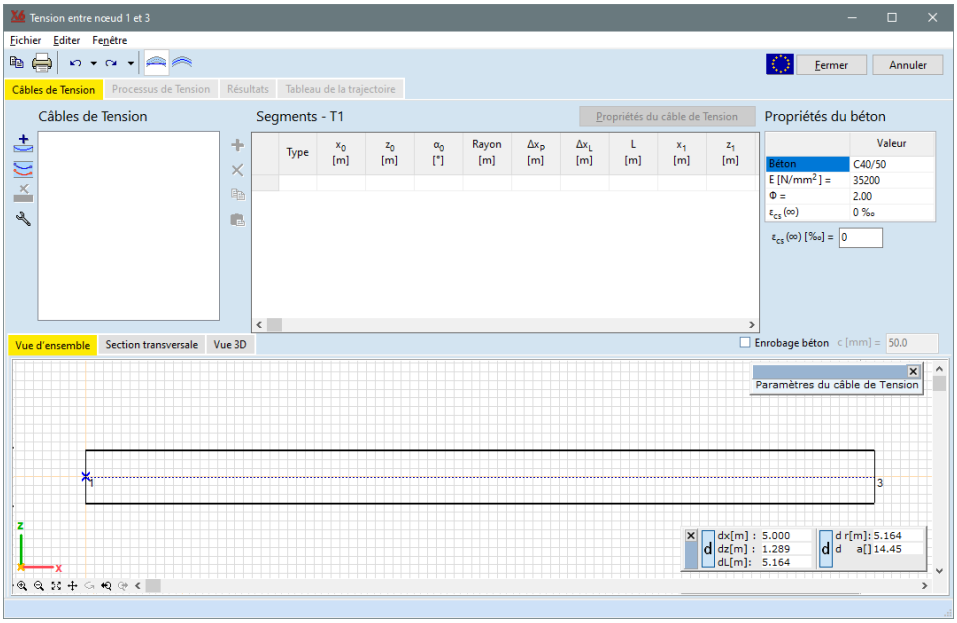
4.10.28.1. Post-tension des éléments de poutre et de nervure



Tension

Cliquez sur cette icône de la page *Charges* pour affecter des câbles aux éléments de poutre ou de membrure sélectionnés.

Le premier onglet permet de définir les paramètres et la géométrie des câbles de tension



Systèmes de coordonnées



La géométrie d'un câble de tension peut être définie dans un système de coordonnées fixe (icône de gauche) ou dans un système de coordonnées mobile (icône de droite).
Le **système de coordonnées fixes** définit l'axe des *x* sur la ligne droite reliant le premier et le dernier nœud.
L'axe z est perpendiculaire à l'axe x et à l'axe y de la section transversale initiale. Alors que la direction de l'axe *y* est déterminée dans un système de coordonnées fixe.
Si les éléments tendus ne sont pas sur une ligne droite mais définis par un arc, ou un polygone, un **système de coordonnées mobile** peut être choisi. Si la poutre est un arc, le système de coordonnées se déplace le long de cet arc. Si la structure est définie par un polygone, la géométrie est interpolée par une spline cubique. L'axe *x de* ce système de coordonnées s'adapte à la tangente de la courbe générée, tandis que l'axe *z* suit l'axe *z* local de la poutre en chaque point. L'axe *y* est défini par la règle de droite.

La géométrie du câble peut être affichée dans les vues suivantes:

Une vue déroulée La position du câble de tension est affichée dans le plan de travail. Les lignes continues représentent la section transversale du plan de travail et les éléments. Les lignes pointillées représentent la ligne centrale et la projection des bords des poutre sur le plan de travail déroulant.

Section transversale Les positions des câbles de tension sont affichées dans la section transversale *y-z* (section transversale).

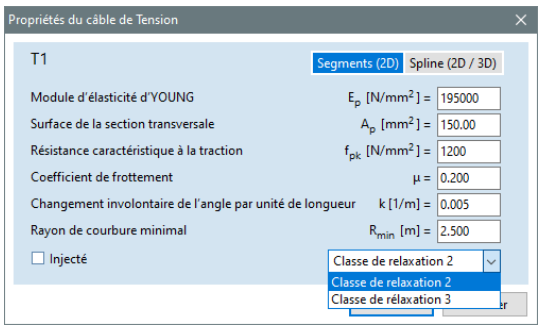
Vue 3D La vue 3D montre le câble et les éléments en 3D.

Les points de base de la géométrie et les points d'inflexion sont affichés à la fois dans la vue déroulée et dans la vue 3D.

Les icônes sur la barre d'outils verticale à côté de la liste des câbles de tension sont



Ajouter un nouveau câble de tension
La géométrie du nouveau câble de tension peut être définie à l'aide de la barre d'outils située à côté du diagramme. Il faut d'abord définir les propriétés du câble.



Segments (2D) La géométrie du câble est définie comme une série de segments (connexions droites-paraboles-arc).

Spline (2D/3D) La géométrie du câble est définie comme une cannelure.

E_p Module d'élasticité de l'acier du câble de tension,
A_p Section transversale du câble de tension
f_{pk} Résistance à la traction caractéristique de l'acier du câble de tension
μ Coefficient de frottement entre le câble de tension et sa gaine
k Déplacement angulaire involontaire des câbles de tension internes par unité de longueur. Indique la précision du travail. Habituellement 0,005 1/m < k < 0,01 1/m.
R_{min} Rayon de courbure minimum. Lorsque le rayon de courbure est inférieur à cette limite, les câbles sont affichés en rouge.

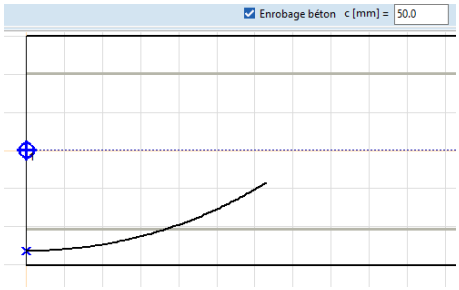
Classe de relaxation *La classe de relaxation* dépend des propriétés de relaxation du câble de tension. Les fils et les torons appartiennent à la classe de relaxation *2, les* barres laminées et traitées à chaud appartiennent à la *classe de relaxation 3.*

Injecté Si les conduits sont remplis d'un matériau injecté, cette option doit être cochée.

Note: Pour modifier les propriétés ci-dessus, choisissez le câble de tension actif et cliquez sur le bouton *Propriétés du câble.*

Enrobage béton

Si la souris se trouve près du bord supérieur ou inférieur de la section transversale, le curseur trouve le bord. Si la case *enrobage béton* est cochée, le point saisi ne sera pas sur le bord mais à l'intérieur de la section transversale telle que définie par d.
Cette fonction fonctionne à la fois pour les segments et les splines.



Dessiner les câbles de tension si la fonction Spline (2D/3D) est sélectionnée

Cliquez sur les icônes de la barre d'outils verticale à côté du dessin et entrez les points de base. AxisVM détermine la trajectoire passant par ces points de base comme une spline cubique pour minimiser la courbure. Pour chaque point de base, les angles de tangente peuvent être spécifiés en réglant le α (vue de dessus) et β (vue de côté) valeurs dans le tableau. Entrez des valeurs comprises entre -180° et 180°. Les valeurs initiales sont 0°. Les points de base existants peuvent être déplacés vers une nouvelle position à l'aide de la souris.



Dessinez le câble de tension en 2D.
Les points de base peuvent être créés en cliquant sur le diagramme ou en utilisant la fenêtre de coordonnées. Double-cliquez ou faites un clic droit et choisissez *Compléter dans* le menu contextuel pour terminer la courbe. La position du câble de tension dans la section transversale doit être spécifiée uniquement au premier point de base. Les autres points de base seront dans la zone locale x-z (déroulée) contenant le premier point de base.

Étapes du dessin d'un câble en 2D:

1. Sélectionnez la position *x de la* section transversale où le point de base du câble sera défini.
2. Placez le câble à la bonne position dans la vue en coupe.
3. Placez les autres points du câble dans la vue déroulée.



Dessinez le câble en 3D.
La position du câble dans la section transversale doit être spécifiée à chaque point de base. Pour terminer la définition du câble, cliquez sur le bouton droit de la souris et sélectionnez *Compléter dans* le menu contextuel.
Étapes du dessin d'un câble en 3D:

1. Sélectionnez la position de la section transversale où vous souhaitez définir un point de base du câble.
2. Définissez la position correcte du câble dans la vue en coupe.

Répétez les étapes 1 et 2 pour définir tous les points de base.



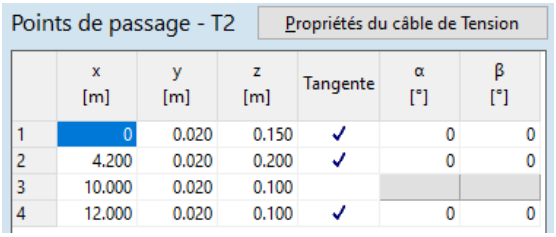
Ajouter un nouveau point de base
Cliquez sur le câble pour ajouter un nouveau point de base. En cas de câbles de tension multiples, cette fonction fonctionne sur le câble de tension actif.



Supprimer le point de base
Cliquez sur un point de base existant pour le supprimer. Après avoir supprimé le deuxième point de base, le câble de tension entier est supprimé. Dans le cas de plusieurs câbles, cette fonction fonctionne sur le câble actif.

Tableau des points de base

Les propriétés des points de base peuvent être éditées dans le tableau. *x, y, z* sont les coordonnées cartésiennes des points de base. Si l'option *Tangente* est cochée, *α* et *β* (l'angle entre la direction x et la tangente sur le plan *x-y* et *x-z*) peuvent être éditées.



	x [m]	y [m]	z [m]	Tangente	α [°]	β [°]
1	0	0.020	0.150	✓	0	0
2	4.200	0.020	0.200	✓	0	0
3	10.000	0.020	0.100			
4	12.000	0.020	0.100	✓	0	0



Ajouter un nouveau point de base



Supprimer les lignes sélectionnées



Copier les données sur les câbles dans le presse-papiers



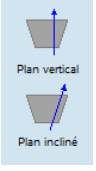
Coller les données sur les câbles à partir du presse-papiers

Dessin des câbles de tension si Segments (2D) est sélectionné

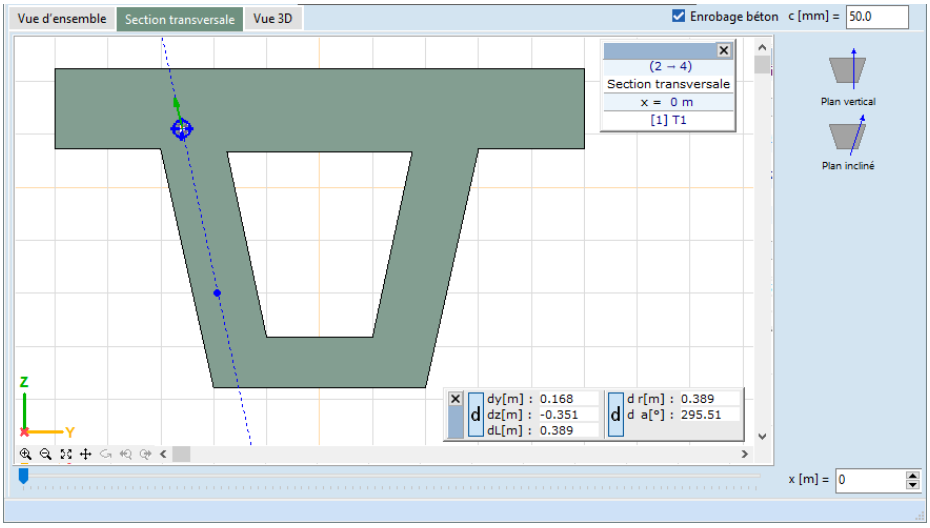
Cette méthode permet de construire des câbles à partir de segments. Chaque segment est construit à partir d'un, deux ou trois sous-segments de base.

Remarque: si le système de coordonnées mobiles a été sélectionné, les coordonnées *x, y* et *z* représentent des points dans le système de coordonnées mobiles.

Réglage du système de coordonnées des câbles de tension

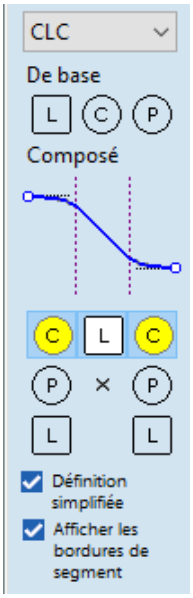


Les segments sont des courbes planes à l'intérieur du plan déroulé. La position et l'orientation de ce plan peuvent être définies dans la vue en *coupe*.
Choisissez un emplacement *x le* long de la poutre en faisant glisser la barre de suivi en bas ou en entrant une valeur *x*.
Choisissez *Plan vertical* si les câbles se déplacent dans un plan vertical. Cliquez dans la section transversale *(y, z)* pour définir l'origine *(x, y, z) du* système de coordonnées des câbles. L'axe z du système de coordonnées des câbles sera parallèle à l'axe z local de la poutre.
Choisissez le *plan incliné* si les câbles se déplacent dans un plan non vertical. Cliquez dans la section transversale *(y, z)* pour définir l'origine *(x, y, z) du* système de coordonnées du câble et cliquez sur un autre point de la section transversale pour définir l'inclinaison.
La géométrie du câble planaire sera définie et affichée dans ce système dans la *vue "déroulée"*.



Définir les segments

Chaque segment est construit à partir d'un, deux ou trois sous-segments de base. La géométrie des sous-segments peut être choisie dans les icônes de la barre d'outils à côté du diagramme de câble. Les abréviations d'une lettre sont :



C	Arc de cercle de rayon défini
P	Arc parabolique
L	Ligne droite
x	Pas de sous-segment intermédiaire

Options:

De base Cliquez sur les symboles L, C ou P (ou sélectionnez L, C ou P dans la liste déroulante) pour ajouter à la géométrie existante un sous-segment d'arc linéaire, circulaire ou parabolique avec une continuité tangentielle.

Composite Cliquez sur les trois colonnes de symboles (ou sélectionnez des codes de deux ou trois lettres dans la liste déroulante) pour définir un segment composite composé de deux ou trois sous-segments.

Définition simplifiée Si un segment *composite* est créé et que la *définition simplifiée* est vérifiée, les tangentes terminales des segments seront toujours horizontales. Si le dernier sous-segment du premier segment est un arc (comme dans un segment de départ LC), tous les segments suivants seront CLC. S'il s'agit d'un arc parabolique (comme dans un segment de départ LP), tous les segments suivants seront PLP.

Afficher les frontières des segments Les limites des segments sont également affichées.

Ensuite, les points des segments consécutifs peuvent être placés.

Tableau des segments

Les propriétés des segments définis peuvent être modifiées dans le *tableau des segments*. Les valeurs et fonctions modifiables sont énumérées ci-dessous

Segments - T2

	Type	x_0 [m]	z_0 [m]	α_0 [°]	Rayon [m]	Δx_P [m]	Δx_L [m]	L [m]	x_1 [m]	z_1 [m]	α_1 [°]
1	CLC	0.280	-0.067	0	2.500	-	0.740	1.160	1.440	-0.147	0
2	CLC	1.440	-0.147	0	2.500	-	0.625	0.700	2.140	-0.137	0
3	PLP	2.140	-0.137	0	-	0.173	0.173	0.530	2.670	-0.097	0
4	PLP	2.670	-0.097	0	-	0.177	0.177	0.530	3.200	-0.147	0
5	PLP	3.200	-0.147	0	-	0.176	0.176	0.533	3.733	-0.339	0

x_0, z_0 les coordonnées du point de départ du segment de câble de tension

α_0 Angle de la tangente du câble de tension au point de départ,

Radius Dans le cas d'un ou plusieurs arcs, le rayon (les rayons) peut être défini,

Δ_{xP} Longueur dans le sens x de la première parabole

Δ_{xL} Longueur de la ligne droite dans le sens x,

L Longueur du segment projeté par rapport à la ligne de base

x_1, z_1 Coordonnées du point final du segment du câble de tension,

α_1 Angle de la tangente du câble de tension au point final.

Remarque: tous les paramètres géométriques ne sont pas disponibles pour les différents types de segments. Par exemple, la tangente au départ ne peut pas être modifiée pour les segments d'arcs linéaires, car la tangente est déjà définie par les coordonnées des points de départ et d'arrivée et le rayon de l'arc.

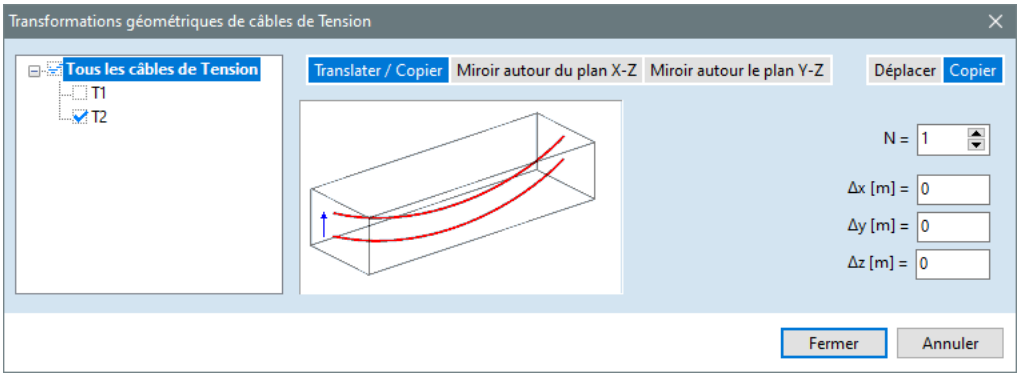
 *Ajouter un nouveau segment*

 *Copier les données sur les câbles dans le presse-papiers*

 *Supprimer les segments sélectionnés*

 *Coller les données sur les câbles à partir du presse-papiers*

 Les transformations géométriques des câbles



Les câbles de tension sélectionnés dans l'arbre peuvent être translatés ou reflétés. Les câbles peuvent être copiés ou simplement déplacés. Les câbles copiés héritent des paramètres originaux et du processus de tension qui leur a été attribué.

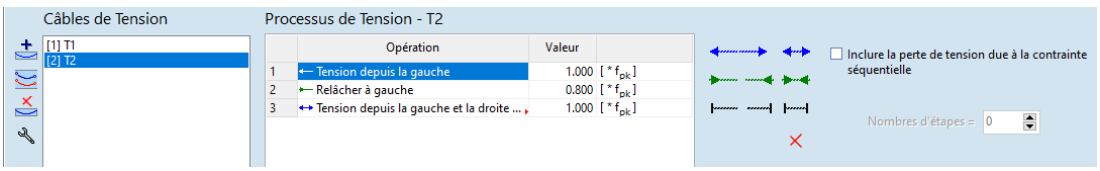
 *Supprimer le câble*. Supprime le câble de tension sélectionné.

 *Options*. Réglages séparés de la trame et du curseur pour le diagramme du câble de tension longitudinal et transversal.

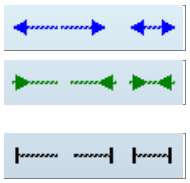
Paramètres concrets Les paramètres du béton permettent de vérifier les propriétés du béton. En outre, les $e_{cs}(\infty)$La valeur à long terme de la contrainte de retrait du béton peut être modifiée.

Processus de tension

Le deuxième onglet permet de définir le processus de mise en tension des câbles de tension en déterminant l'ordre de certaines opérations. Cliquez sur le symbole approprié pour ajouter une nouvelle opération à la liste.



Opérations et paramètres possibles :



Tension de gauche / droite / des deux côtés

Relâcher de gauche / de droite / des deux côtés

Ancrage à gauche / à droite / des deux côtés

La force est une fraction de la valeur caractéristique de la résistance à la traction de l'acier de traction (f_{pk}).

Cale d'amarrage du dispositif d'ancrage



Supprime la dernière opération de la liste.

Remarque: à gauche, le point de départ, à droite, l'extrémité du câble.

Inclure la perte de tension due au contrainte séquentiel

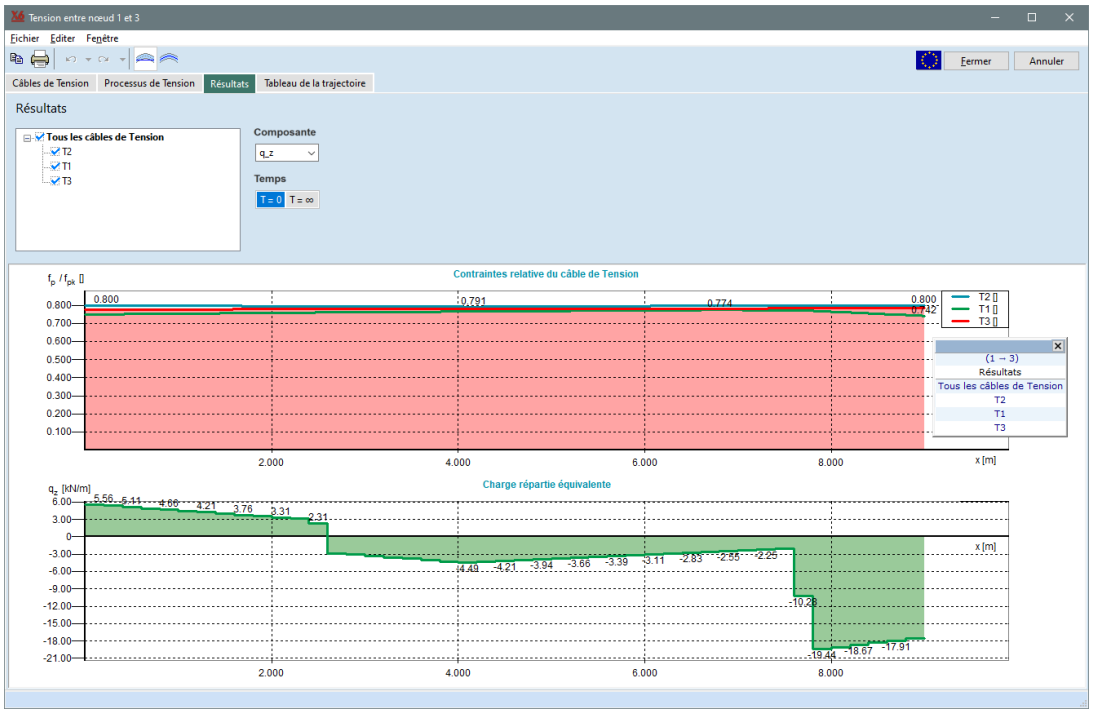
Si plus d'un câble de tension se rapporte à un élément structurel, alors ces câbles peuvent être sollicités à des moments différents. De ce fait, une perte de tension se produit dans les câbles tendus précédemment ancrés. Avec cette option, l'utilisateur peut prendre en compte ce phénomène.

Nombre d'étapes

Si l'utilisateur tient compte de la perte due à la tension séquentielle, le nombre d'étapes de tension doit être indiqué ici.

Résultats

Si des paramètres matériaux, une géométrie et des processus de tension valides sont attribués à chaque câble, des diagrammes de résultats sont affichés dans l'onglet *Résultats*. Le diagramme supérieur montre le rapport entre la tension réelle et la résistance à la traction caractéristique des câbles de tension sélectionnés. Le diagramme inférieur montre la composante de charge répartie équivalente choisie pour les câbles de tension sélectionnés



Composante

la composante du système de charge équivalente peut être choisie. Trois composantes de force et trois composantes de moment sont disponibles.

Temps

les précontraintes dans le câble et la composante de charge équivalente peuvent être illustrées juste après la mise sous tension (en choisissant *T=0*) et après les pertes à long terme (en choisissant *T=∞*). Les composantes, relatives à *T=∞*, ne peuvent être choisies qu'après une analyse statique.

Pertes de tension immédiates:

1. La perte de tension due au frottement entre les câbles et leurs manchons en position x, mesurée à partir du point d'ancrage le long du câble, est calculée comme suit

$$\sigma_\mu(x) = \sigma_{max}\left(1 - e^{-\mu(\Theta + kx)}\right),$$

où

σ_{max} est la tension maximale dans le câble de tension

Θ est la somme des déplacements angulaires absolus sur une distance *x*

2. Les pertes dues à la déformation instantanée du béton sont calculées comme

$$\Delta P_{el} = A_p E_p \sum \left[\frac{j\Delta\sigma_c}{E_{cm}}\right],$$

où

$\Delta\sigma_c$ est la variation de la contrainte au centre de gravité de la section transversale

j $= (n-1)/2n$ où *n* est le nombre d'étapes de mise en évidence

E_{cm} est le module sécant d'élasticité du béton

3. Les pertes au niveau de l'ancrage sont dues à l'enfoncement des cales des dispositifs d'ancrage.

Perte de tension à long terme

La perte de force à long terme due au retrait et au fluage du béton et à la relaxation du câble est calculée comme suit

$$\Delta P_{c+s+r} = A_p \Delta\sigma_{c+s+r} = A_p \frac{\epsilon_{cs} E_p + 0.8\Delta\sigma_{pr} + \frac{E_p}{E_{cm}}\varphi\sigma_{c,QP}}{1 + \frac{E_p}{E_{cm}}\frac{A_p}{A_c}\left(1 + \frac{A_c}{I_c} z_{cp}^2\right)[1 + 0.8\varphi]},$$

où

$\Delta\sigma_{c+s+r}$ Perte de tension due aux effets ci-dessus

E_{cm} Module sécant d'élasticité du béton

$\Delta\sigma_{pr}$ Perte de tension absolue à long terme due à la relaxation des câbles

en cas de 2ème classe de relaxation:

$$\Delta\sigma_{pr} = \sigma_{max} \cdot 0.6\rho_{1000} e^{9.1\mu} \cdot 500^{0.75(1-\mu)} \cdot 10^{-5},$$

en cas de 3ème classe de relaxation:

$$\Delta\sigma_{pr} = \sigma_{max} \cdot 1.98\rho_{1000} e^{8\mu} \cdot 500^{0.75(1-\mu)} \cdot 10^{-5},$$

où $\rho_{1000} = 2.5\%$ est la perte de relaxation à une température moyenne de 20°C à 1000 heures après la mise sous tension

φ Valeur finale du coefficient d'élasticité

$\sigma_{c,QP}$ Contrainte dans le béton adjacent aux câbles, due au poids propre et à la tension initiale et à d'autres actions quasi-permanentes le cas échéant.

A_p Surface totale de la section transversale des câbles

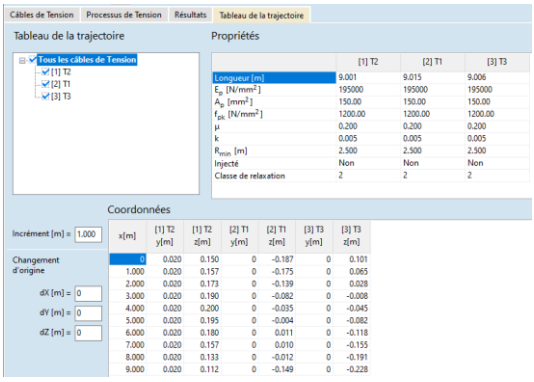
A_c Surface de la section transversale du béton

I_c Deuxième domaine de moment de la section transversale béton

z_{cp} Distance entre le centre de gravité de la section transversale en béton et les câbles

Tableau de trajectoire

Le dernier onglet permet de construire un tableau de trajectoire pour les câbles de tension sélectionnés avec l'incrément souhaité et le décalage d'origine optionnel. Le tableau de trajectoire est constitué des coordonnées locales y et z des câbles sélectionnés aux positions x calculées.
Les points de base définis sont toujours affichés dans le tableau des trajectoires.



Barre d'outils principale

La barre d'outils principale comporte deux boutons.



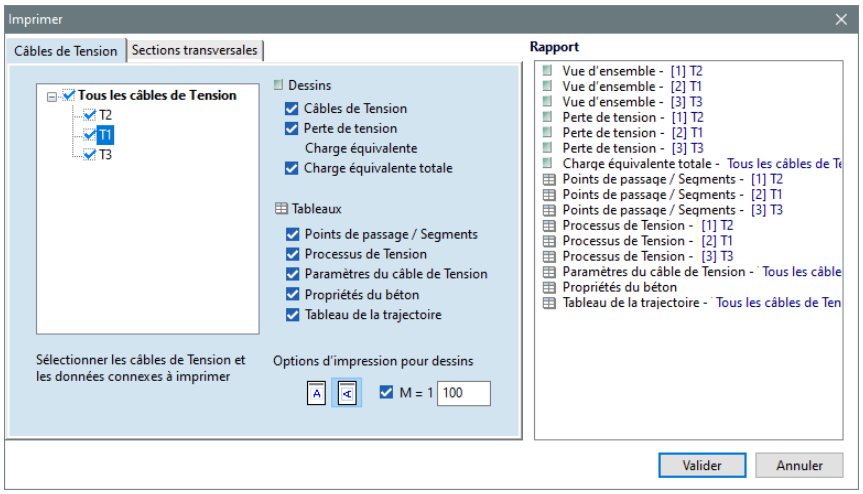
Copier le diagramme Ctrl+C

Copie le dessin de l'onglet actif dans le Presse-papiers sous forme de métafichier Windows. De cette façon, le dessin peut être collé dans d'autres applications (par exemple Word).

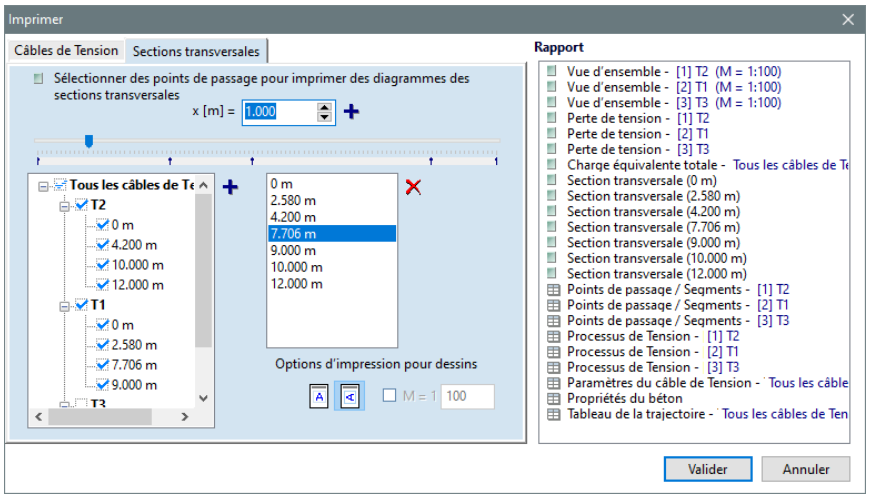


Imprimer Ctrl+P

Imprime un rapport sur la tension à l'aide de diagrammes et de tableaux. Les câbles de tension et les éléments du rapport peuvent être sélectionnés. Vous pouvez choisir la position du dessin (paysage ou portrait) et en définir l'échelle *(Options d'impression des dessins)*.

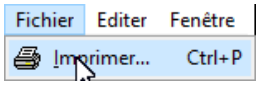


Les sections transversales peuvent être sélectionnées pour imprimer des diagrammes en coupe.



Menu *Vous pouvez accéder aux fonctions suivantes via le menu:*

Fichier

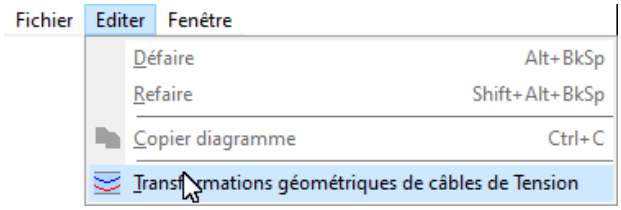




See... *3.1.12. Imprimer*

Imprimer Ctrl+P

Editer



Défaire/Refaire Annule l'effet de la commande précédente / Exécute la commande qui a été annulée.

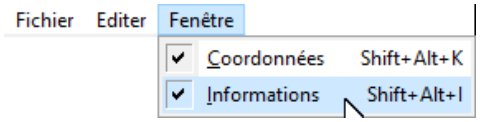


See... *3.2.6 Copier*

Copier le diagramme Ctrl+C

Transformations géométriques des câbles de tension Voir... *Câbles / Transformations géométriques des câbles*

Fenêtre



Coordonnées L'édition des diagrammes longitudinaux et transversaux est facilitée par une fenêtre de coordonnées. L'affichage de cette fenêtre peut être activé et désactivé.

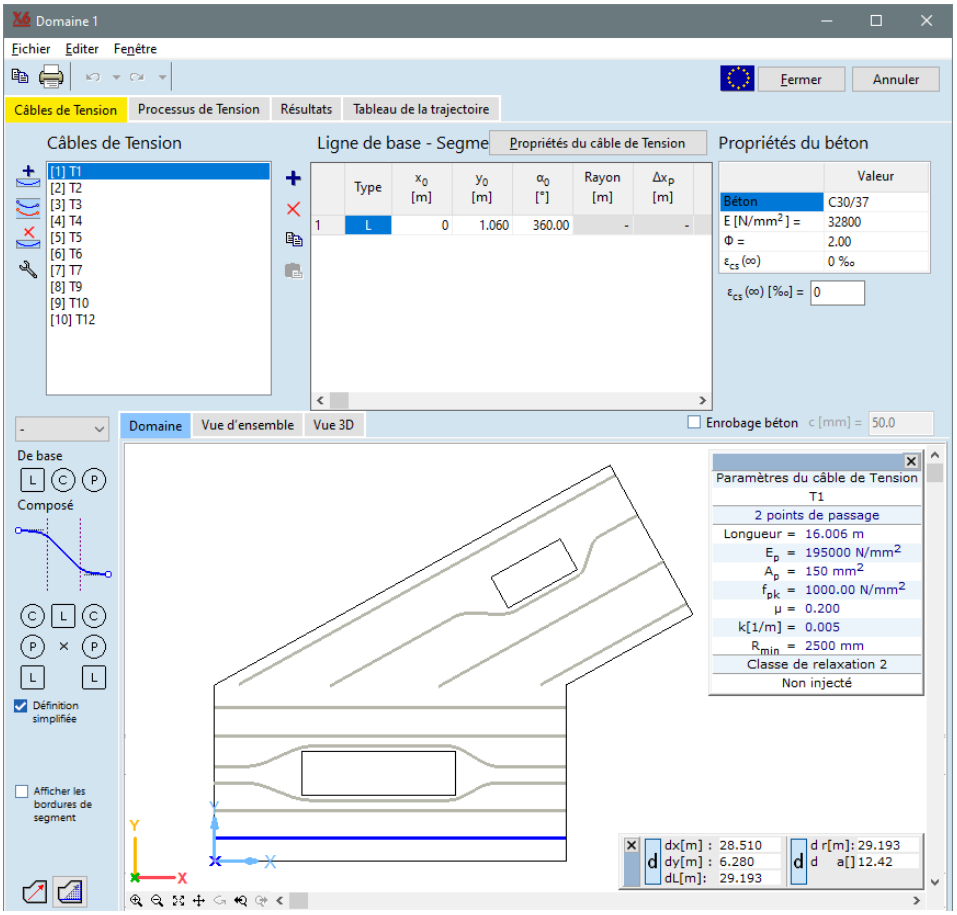
Statut Sur les diagrammes, une fenêtre d'information s'affiche et donne des informations spécifiques au diagramme. L'affichage de cette fenêtre peut être activé ou désactivé.

4.10.28.2. Post-tension des domaines



Sur la page Charges, en cliquant sur cette icône et en sélectionnant des domaines, des câbles de précontraintes peuvent être attribués aux éléments sélectionnés.

Câbles Le premier onglet permet de définir les paramètres et la géométrie des câbles.



La géométrie des câbles peut être affichée en trois vues.

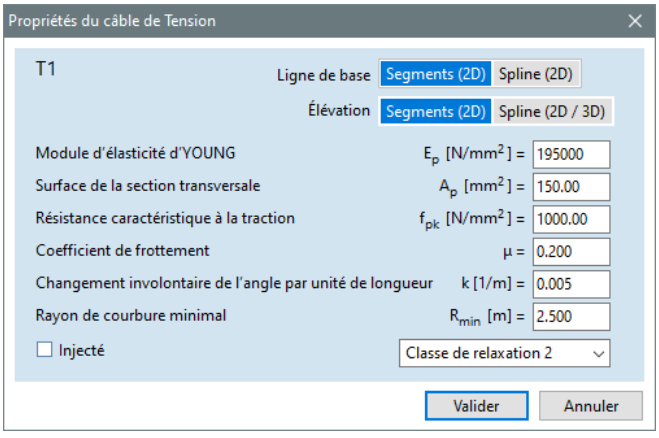
Domaine	Les câbles sont affichés en vue de dessus montrant la géométrie de la courbe sur le plan médian (ligne de base).
Une vue déroulée	Élévation du câble perpendiculaire au plan médian en fonction de x (la position de la longueur de l'arc sur la ligne de base).
Vue 3D	La vue 3D montre le câble et les éléments en 3D.

Note: Les points de base de la géométrie et les points d'inflexion sont indiqués à la fois dans la vue déroulée et dans la vue 3D.

Les icônes sur la barre d'outils verticale à côté de la liste des câbles sont



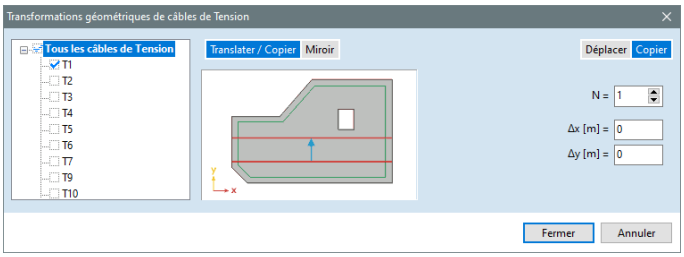
Ajouter un nouveau câble de Tension
Les propriétés des câbles sont les mêmes que celles décrites dans la section transversale précédente.
Le mode de définition de la géométrie des câbles peut également être sélectionné ici.



La ligne de base est la projection perpendiculaire du câble au plan médian du domaine.
L'élévation est la déviation perpendiculaire du câble par rapport à la ligne de base. Si l'*élévation* est définie comme une spline 3D, la projection perpendiculaire réelle du câble peut également s'écarter de la ligne de base.

Pour modifier les propriétés ci-dessus, choisissez le câble actif et cliquez sur le bouton *Propriétés du câble*.

Transformations géométriques des câbles de Tension



Les câbles sélectionnés dans l'arbre peuvent être translatés ou reflétés. Les câbles peuvent être copiés ou simplement déplacés. Les coordonnées *Δx, Δy* sont définies dans le système de coordonnées des câbles (voir ci-dessous). Les câbles copiés héritent des paramètres d'origine et du processus de tension qui leur a été attribué.

Supprimer le câble. Supprime le câble sélectionné.

Options. Réglages séparés de la trame et du curseur pour le diagramme de câble longitudinal et transversal.

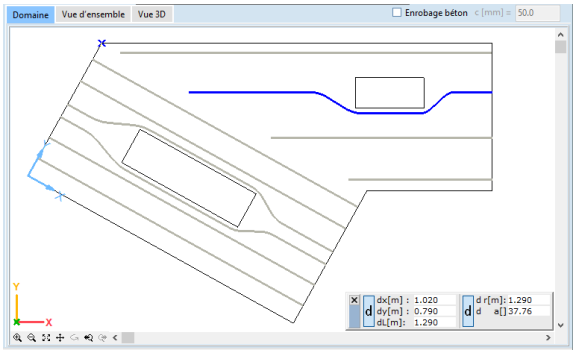
Paramètres concrets — Les paramètres du béton permettent de vérifier les propriétés du béton. En outre, $e_{cs}(\infty)$ La valeur à long terme de la contrainte de retrait du béton peut être modifiée.

Géométrie des câbles

La première étape consiste à dessiner la ligne de base en vue de dessus dans l'onglet *Domaine en* utilisant les outils de géométrie par segments ou par splines de la même manière que dans le cas de la post-tension des poutres. Comme la ligne de base doit se trouver dans le plan médian du domaine, la définition de la spline est limitée à 2D. Chaque câble a son propre système de coordonnées (voir ci-dessous).
La deuxième étape consiste à dessiner la courbe d'élévation le long de la ligne de base dans l'onglet *Vue déroulée en* utilisant la méthode de définition sélectionnée dans la boîte de dialogue des *propriétés du câble*.
La vérification de *l'enrobage en béton* et la saisie de la valeur requise permettent de définir les câbles de la même manière que dans le cas des poutres.

Système de coordonnées des câbles

Cliquez sur cette icône pour définir l'origine (premier clic) et l'axe X local (deuxième clic) du système de coordonnées du câble. Le dessin du domaine sera translaté et tourné en conséquence. Dessinez la ligne de base de la même manière que dans le cas des poutres. L'axe Z du système de coordonnées du câble est perpendiculaire au plan, tandis que Y est défini selon la règle de la main droite.
La redéfinition du système de coordonnées locales d'un câble existant supprimera le câble et il devra être redessiné dans le nouveau système.



Système de coordonnées des trajectoires

Cliquez sur cette icône pour définir l'origine (premier clic) et la direction X locale (deuxième clic) du système de coordonnées de la trajectoire (un système pour tous les câbles).

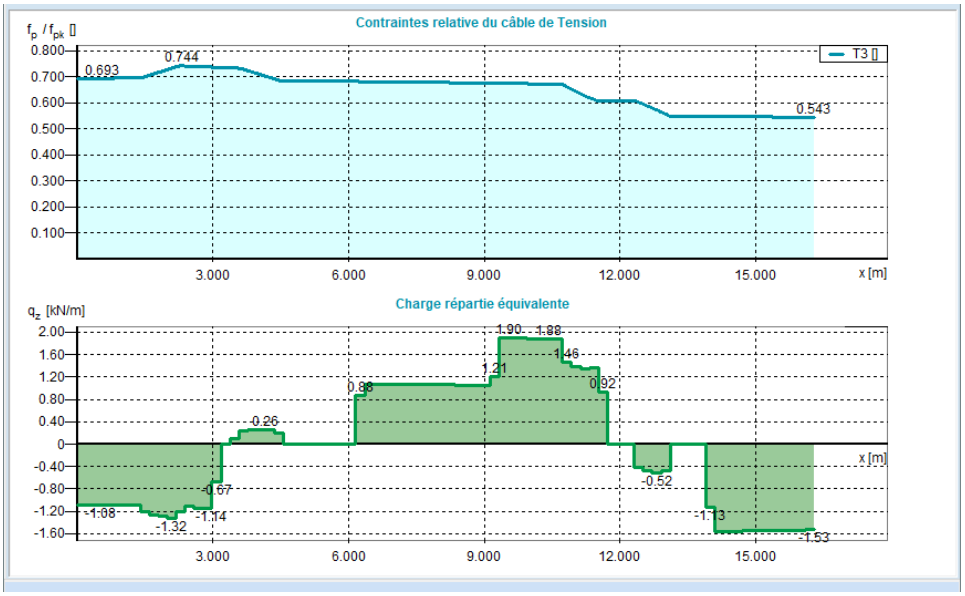
Processus de tension

Le deuxième onglet permet de définir le processus de mise en tension des câbles en déterminant l'ordre de certaines opérations comme pour la mise en tension des poutres.

Inclure la perte de tension due au contrainte séquentiel — Lors de la post-tension des domaines, la perte élastique due à la contrainte séquentielle est négligée.

Résultats

Si tous les câbles ont des paramètres de matériaux, une géométrie et un processus de tension valides, les diagrammes de résultats sont affichés dans l'onglet *Résultats*. Le diagramme supérieur montre le rapport entre la tension réelle et la résistance à la traction caractéristique. Le diagramme inférieur montre la composante de charge répartie équivalente choisie.
Dans le cas des domaines, un seul câble peut être choisi à la fois pour les surfaces post-tendues.



Composante

La composante du système de charge équivalente peut être choisie. Trois composantes de force (*q_x, q_y* et *q_z*) et trois composantes de moment (m_x, m_y et m_z) sont disponibles.

Temps

Les tensions dans le câble et la composante de charge équivalente peuvent être illustrées juste après la mise sous tension (en choisissant *T=0*) et après les pertes à long terme (en choisissant *T=∞*). Les composantes, relatives à *T=∞*, ne peuvent être choisies qu'après une analyse statique.

Le calcul de la perte de tension se fait de la même manière qu'il a été introduit auparavant, pour les poutres post-contraintes. Le calcul des pertes de tension juste après la mise en tension néglige le retrait élastique du béton.

Tableau de trajectoire

A la dernière page, le tableau de trajectoire peut être créée de la même manière que pour les poutres. Le système de coordonnées des trajectoires peut être défini sur la page *Câbles*.

Pour le menu principal et les fonctions de rapport, voir... *4.10.28.1. Post-tension des éléments de poutre et de nervure*

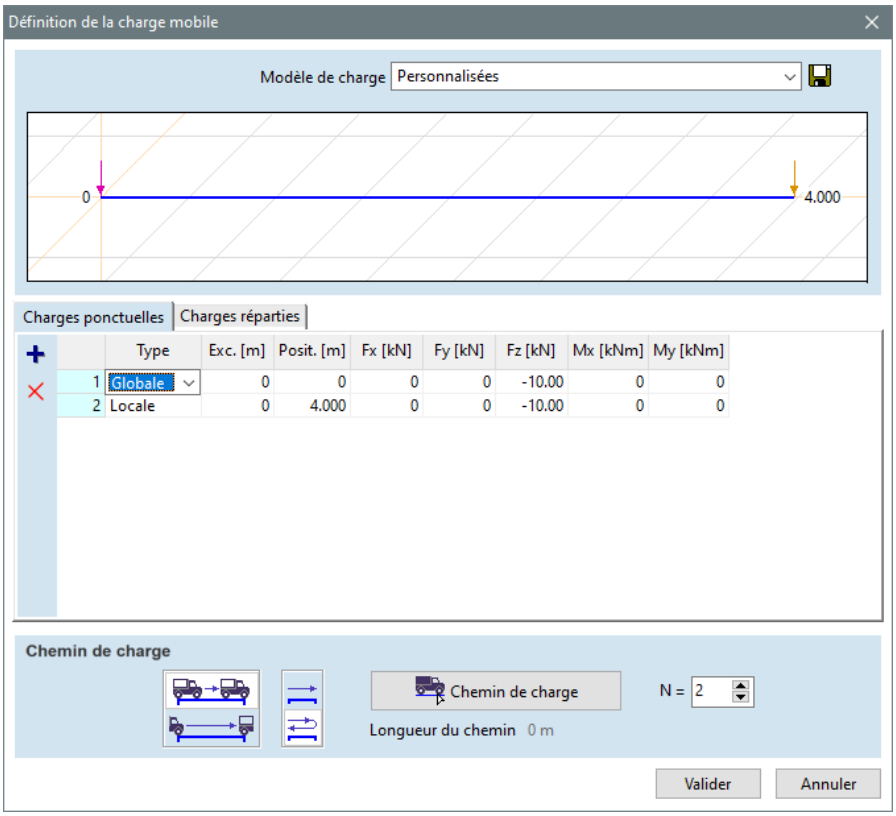
4.10.29. Charges mobiles



Les charges mobiles permettent de modéliser une charge dérivante avec une intensité constante comme un véhicule traversant un pont ou un chariot de grue se déplaçant le long de sa piste.
Pour définir une charge mobile, un cas de charge mobile doit exister. Il peut être créé dans l'onglet Charges en cliquant sur l'icône *Cas de charge et groupes de charges*. Voir... *4.10.1. Cas de charge, groupes de charges*. Les icônes de charges mobiles ne seront activées que si le cas de charge actuel est un cas de charge mobile. Après avoir défini la charge, de nouveaux cas de charge seront créés automatiquement en fonction du nombre d'étapes spécifiées. Les cas de charge créés automatiquement sont maintenus et mis à jour automatiquement et ils ne peuvent pas être supprimés ou déplacés dans un autre groupe de charge individuellement. L'augmentation du nombre d'étapes de chargement créera des cas de chargement supplémentaires. La diminution de ce nombre rend certains cas de charge inutiles. Ces cas de charge excédentaires ne seront supprimés qu'avant la sauvegarde du projet.
Les symboles de charge mobile peuvent être affichés de deux façons. La première option consiste à dessiner uniquement la phase en cours. La seconde consiste à dessiner les autres phases en gris.
Ouvrez le navigateur de tableau pour voir le chargement et le chemin de chargement sous forme de tableau. Ces tableaux peuvent également être utilisés à des fins de rapport.

4.10.29.1. Déplacement de charges sur des éléments linéaires





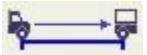
Le déplacement de la charge sur les éléments linéaires est un projet de charge se déplaçant sur un chemin de charge défini par l'utilisateur en *N* étapes. Le projet de charge peut contenir n'importe quelle combinaison de charges ponctuelles et réparties.
Les charges individuelles dans le projet peuvent être locales ou globales et leur position, leur excentricité et leurs composantes d'intensité peuvent être fixées. De cette façon, la charge verticale d'un chariot de grue et les forces horizontales peuvent être appliquées ensemble sur la piste. L'excentricité de la charge est toujours parallèle à l'axe y local. Si elle se trouve du côté gauche lors du déplacement sur la trajectoire, son excentricité est négative. Si elle se trouve du côté droit, son excentricité est positive.
Des charges peuvent être ajoutées au projet en cliquant sur l'icône plus et en remplissant les champs de la ligne. Les lignes sélectionnées peuvent être supprimées en cliquant sur l'icône *Supprimer* sous l'icône plus.
Les projets de chargement peuvent être enregistrés sous un nom et rechargés.
Après la définition du projet de charge, il est nécessaire de sélectionner le chemin de charge. Il doit s'agir d'une séquence continue de poutres ou de nervures. Après avoir sélectionné les éléments constituant le chemin de charge, il faut sélectionner le point de départ et le point d'arrivée. Ces points doivent être des nœuds le long du chemin.
A côté du bouton "Charger le chemin", la valeur de *N* peut être définie. Elle détermine le nombre de pas que le projet de chargement fera uniformément le long du chemin.

La direction *z* locale du schéma de charge sera toujours la direction *z* locale des éléments de la ligne sur laquelle il est placé. L'allongement, le raccourcissement ou la rupture d'un élément linéaire du cheminement entraînera un recalcul automatique des phases de charge.



Mode piste de grues

Dans la première phase, la charge ayant la coordonnée la plus basse du projet sera placée au-dessus du point de départ. Dans la dernière phase, la charge ayant la coordonnée la plus élevée du projet sera placée sur le point final.



Mode pont

Dans la première phase, la charge ayant la coordonnée la plus élevée dans le projet sera placée au-dessus du point de départ. Dans la dernière phase, la charge dont la coordonnée est la plus basse sera placée sur le point final.

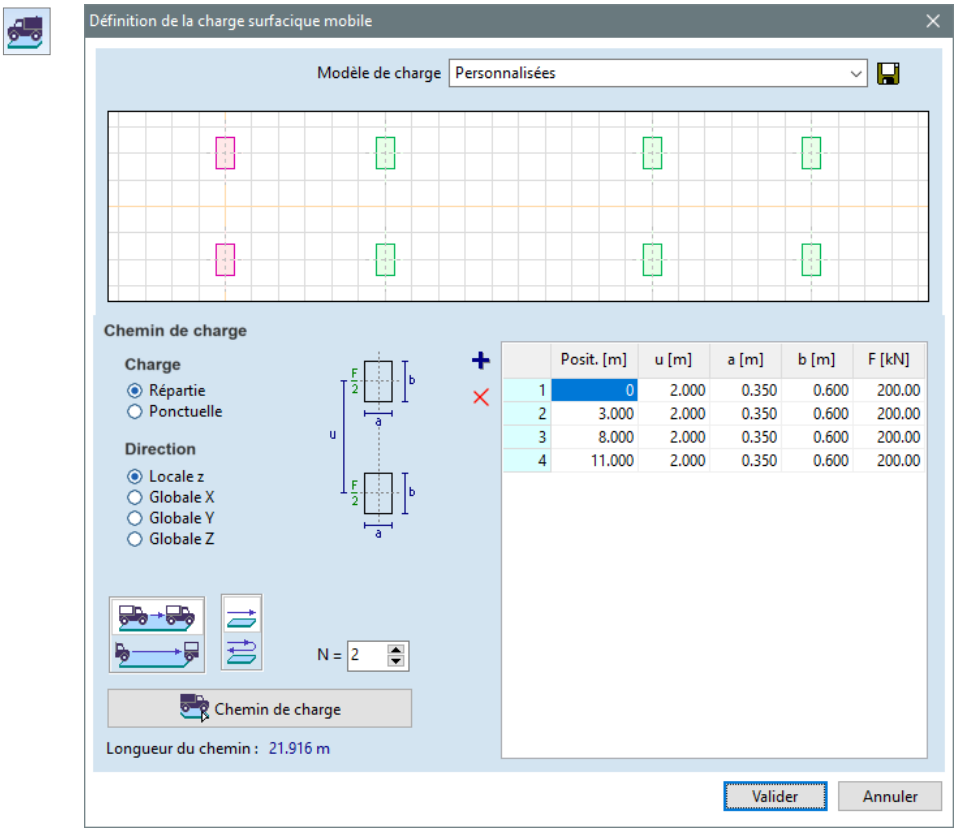


Un aller simple: La charge se déplace de point de départ à point d'arrivée en *N* étapes.



Aller-retour: Le chargement se déplace de point de départ à point d'arrivée et de retour en *2N* étapes.

4.10.29.2. Déplacement de charges sur des domaines ou plans de chargements

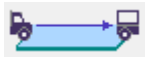


Ce type de chargement est pratique lorsqu'il faut définir les charges des véhicules. Le projet de charge consiste en des paires de charges surfacique ponctuelles ou rectangulaires représentant les roues des essieux.
u est le gabarit du véhicule, *a* et *b* se réfèrent aux dimensions du rectangle. La charge à l'essieu *F* sera répartie uniformément sur les deux roues. Les projets de charge peuvent être enregistrés sous un nom et rechargés.
Le type de charge et les cases à cocher de direction à gauche déterminent les propriétés de toutes les charges entrées dans le tableau.
Des charges peuvent être ajoutées au projet en cliquant sur l'icône plus et en remplissant les champs de la ligne. Les lignes sélectionnées peuvent être supprimées en cliquant sur l'icône *Supprimer* sous l'icône plus.
Après la définition du projet de charge, il est nécessaire de sélectionner le chemin de charge. Il doit s'agir d'une polyligne continue passant par des domaines ou des plans de chargement.
Le chemin de charge n'a pas à rester dans le même plan et peut traverser des trous ou des zones vides entre les domaines et plans de chargement
Le point de départ et le point d'arrivée de la trajectoire sont le premier et le dernier point de la polyligne. Chaque phase ne contiendra que les charges qui tombent efficacement sur un domaine ou un plan de chargement. La direction *z* locale du projet de charge sera la direction *z* locale du domaine ou du plan de chargement sur lequel il est placé. Dans le cas d'un chemin longeant le bord de deux ou plusieurs domaines dans des plans différents, seuls les domaines des parties actives sont pris en compte. La direction *z* locale sera choisie en trouvant le domaine avec l'angle minimum entre les directions *z locales* et *Z* globales.
A côté du bouton "chemin de chargement", la valeur de *N* peut être définie. Elle détermine le nombre de pas que le projet de chargement fera uniformément le long du chemin.
Dans la première phase, la charge ayant la coordonnée la plus basse du projet sera placée au-dessus du point de départ. Dans la dernière phase, la charge ayant la coordonnée la plus élevée du projet sera placée sur le point final.
La modification de la géométrie des domaines/plans de chargement entraînera un recalcul automatique des phases de charge.



Mode piste de grues

Dans la première phase, la charge ayant la coordonnée la plus basse du projet sera placée au-dessus du point de départ. Dans la dernière phase, la charge ayant la coordonnée la plus élevée du projet sera placée sur le point final.



Mode pont

Dans la première phase, la charge ayant la coordonnée la plus élevée dans le projet sera placée au-dessus du point de départ. Dans la dernière phase, la charge dont la coordonnée est la plus basse sera placée sur le point final.



Un aller simple : La charge se déplace de point de départ à point d'arrivée en *N* étapes.



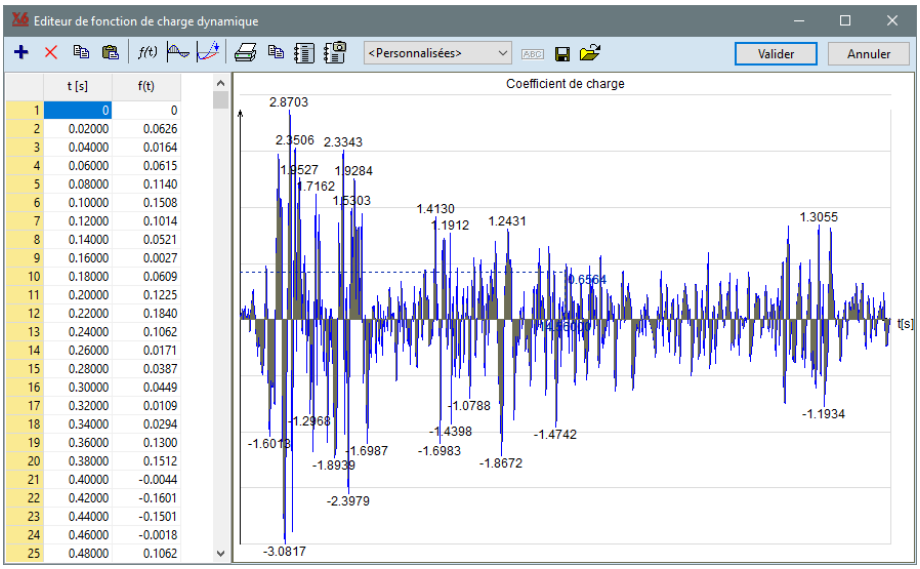
Aller-retour : Le chargement se déplace de point de départ à point d'arrivée et de retour en *2N* étapes.

4.10.30. Charges dynamiques (pour l'analyse temps / événement) - module DYN

Les charges nodales dynamiques et les fonctions d'accélération peuvent être définies pour l'analyse temps / événement.
Les fonctions d'accélération peuvent être utilisées pour l'analyse sismique. Dans ce cas, il est recommandé d'obtenir des accélérogrammes sismiques appropriés et d'assigner ces fonctions aux nœuds d'appui pour analyser les effets du tremblement de terre. Cette méthode donne des résultats plus précis que l'analyse du spectre de réponse et peut être utilisée même si des éléments non linéaires sont définis dans le projet (appuis non linéaires, fermes en traction uniquement, etc.). Son inconvénient est qu'elle ne peut pas être combinée automatiquement avec d'autres types de charges.

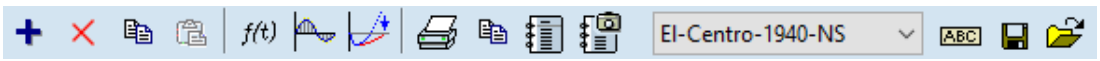
☞ **Pour définir les charges nodales ou les fonctions d'accélération, le cas de charge actuel doit être un cas de charge dynamique. Voir... 4.10.1.** *Cas de charge, groupes de charges*

Définition des fonctions



Les charges et accélérations dynamiques sont définies par des fonctions qui décrivent le paramètre dans le temps. L'éditeur de fonctions est disponible à partir des dialogues de définition des charges dynamiques.
Les fonctions doivent être saisies sous forme de paires de valeurs dans un tableau. Les fonctions sont tracées automatiquement et peuvent être imprimées. Les fonctions peuvent être réutilisées. Pour les rendre disponibles ultérieurement, il faut les enregistrer dans la bibliothèque de fonctions. Les fonctions sauvegardées peuvent être rechargées, modifiées et enregistrées sous un nouveau nom. Les fonctions sont sauvegardées dans des fichiers **.dfn* séparés dans le dossier *c:\ Users \ [nom d'utilisateur] \ AppData \ Roaming \ AxisVM \ [numéro de version] \ dfn*.

☞ ***Si la durée totale de l'analyse dynamique dépasse la longueur de la fonction dans le temps, les valeurs des paramètres au-delà de la fin de la fonction sont supposées être nulles.***



Fonctions d'édition des tableaux

Ajoutez une nouvelle ligne au tableau.

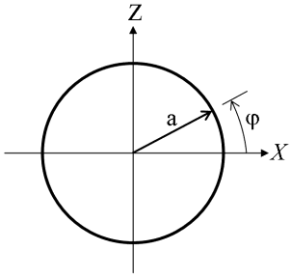
Supprimez les lignes sélectionnées dans le tableau.

Copiez les cellules sélectionnées dans le Presse-papiers.

Insérez le contenu du Presse-papiers dans le tableau.

Edition de formules.

La fonction de charge *f(t)* peut être saisie sous forme de formule. Les opérateurs et fonctions suivants sont disponibles : +, -, * , /, (,), *sin, cos, tan, exp, ln, log10, log2, sinh, cosh, tanh, arcsin, arccos, arctan, arcsinh, arccosh, arctanh, int, round, frac, sqr, sqrt, abs, sgn, random.*
random(t) renvoie un nombre aléatoire entre 0 et 1.
Une machine tournant autour de l'axe Y a une fonction de charge dynamique avec les composantes X et Z suivantes :

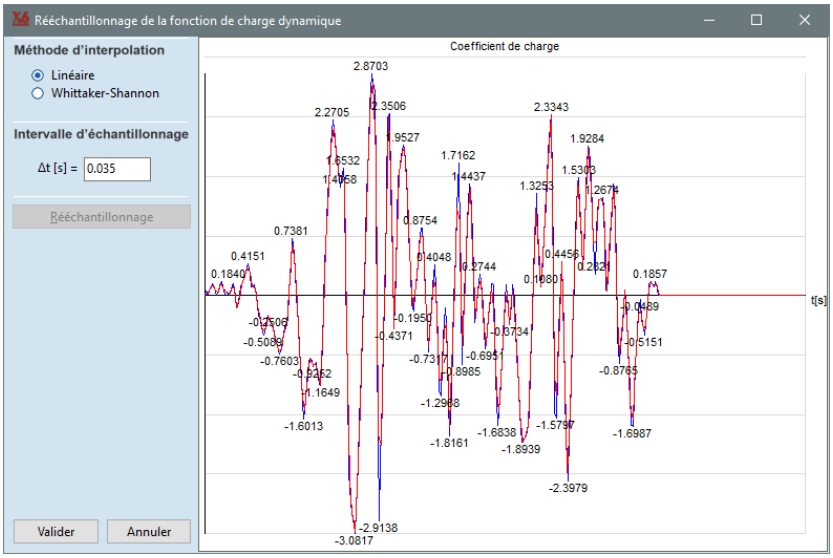


$$f_X(t) = a \cdot \cos(\omega t + \varphi) \text{ et } f_Z(t) = a.\sin(\omega t + \varphi)$$

Comme les fonctions sont représentées par une série de valeurs, un pas *t et* un temps total *Tmax* doivent être spécifiés.

Rééchantillonnage de la fonction d'origine avec un échantillonnage équidistant.
Les valeurs de la nouvelle fonction aux instants d'échantillonnage se situant entre les points d'origine sont obtenues par interpolation. Les méthodes d'interpolation suivantes sont disponibles :

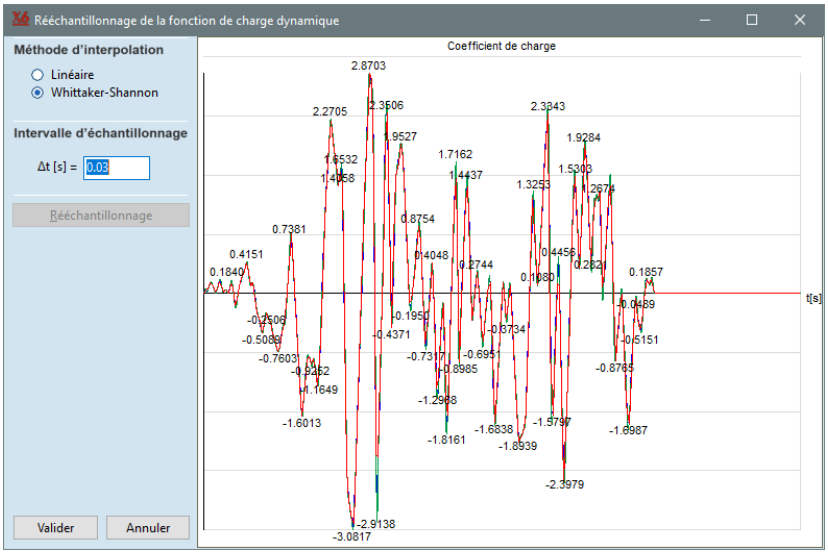
Linéaire
La fonction originale est considérée comme linéaire par morceaux et les valeurs de la nouvelle fonction sont obtenues à partir des segments linéaires. Dans l'image suivante, la fonction originale (ligne bleue) et la nouvelle fonction rééchantillonnée (ligne rouge) peuvent être vues ensemble.



Cette méthode est recommandée si la fonction d'origine est vraiment linéaire par morceaux. Si la fonction d'origine est une fonction continue échantillonnée (par exemple un enregistrement de mesure ou une fonction générée à partir de la composition spectrale de Fourier), cette méthode ne peut pas se rapprocher de la fonction continue courbe d'origine entre les points d'échantillonnage. De plus, dans l'image précédente, plusieurs valeurs extrêmes locales de la fonction originale sont perdues, parce que les instances d'échantillonnage de la nouvelle fonction ne coïncident pas avec celles de l'original. Dans de tels cas, la méthode d'interpolation *Whittaker-Shannon* est recommandée.

Whittaker-Shannon
La fonction originale est considérée comme une fonction continue échantillonnée équidistante et les valeurs de la nouvelle fonction sont obtenues à partir de la fonction continue reconstruite.

Dans l'image suivante, la fonction originale (ligne bleue), la fonction continue reconstruite (courbe verte) et la nouvelle fonction (ligne rouge) sont visibles ensemble. On peut également voir que les valeurs extrêmes de la fonction continue non échantillonnées à l'origine apparaissent dans la fonction reconstruite.



La méthode mise en œuvre est basée sur la formule d'interpolation de Whittaker-Shannon [37]:

$$f_{new}(t) = \sum_{i=1}^{n} f(t_i) \cdot \mathrm{sinc}\left(\frac{t - t_i}{h}\right) = \sum_{i=1}^{n} f(t_i) \cdot \frac{\sin\left(\pi \frac{t - t_i}{h}\right)}{\pi \frac{t - t_i}{h}}$$

où h est l'intervalle d'échantillonnage de la fonction d'origine et $t_i = hi$ est l'instance d'échantillonnage du ième point de la fonction d'origine.

Si le critère de Nyquist [38] est satisfait (la fonction continue était limitée par une bande et le taux d'échantillonnage de l'enregistrement original était au moins deux fois supérieur à la bande), la fonction continue originale peut être parfaitement reconstituée. Bien qu'une fonction de longueur finie ne puisse pas être limitée par une bande, le critère de NYQUIST peut être bien approximé dans des cas pratiques. On peut donc obtenir une bonne estimation de la fonction continue originale.

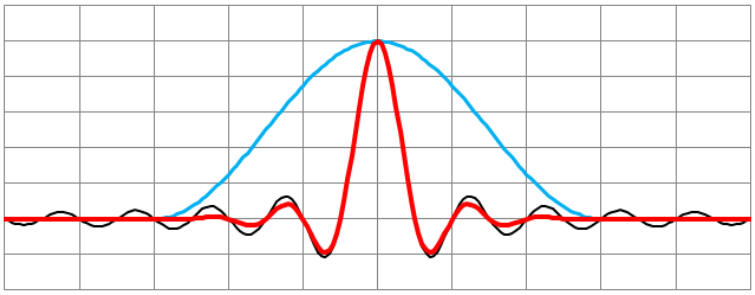
Comme la fonction d'interpolation Whittaker-Shannon a une longueur infinie, l'extrémité des fonctions qui s'efface peut devenir ondulée. Pour éviter ce phénomène, un autre facteur de forme cosinusoïdale est utilisé dans la méthode mise en œuvre :

$$f_{new}(t) = \begin{cases} \sum_{i=1}^{n} f(t_i) \cdot \frac{\sin\left(\pi \frac{t - t_i}{h}\right)}{\pi \frac{t - t_i}{h}} \cdot W_i(t) & if \quad |t - t_i| \le 0.5T_w \\ 0 & if \quad |t - t_i| > 0.5T_w \end{cases}$$

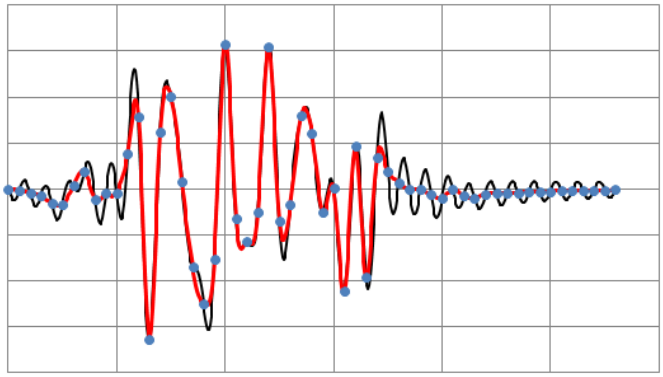
$$W_i(t) = \begin{cases} \frac{1 + \cos\left(\pi \frac{t - t_i}{0.5T_w}\right)}{2} & if \quad |t - t_i| \le 0.5T_w \\ 0 & if \quad |t - t_i| > 0.5T_w \end{cases}$$

où T_w est la longueur de l'ondelette cosinusoïdale. Elle est fixée à 10 % de la longueur de l'enregistrement

L'image suivante montre la fonction d'interpolation originale de Whittaker-Shannon (courbe noire), le facteur de forme cosinusoïdale (courbe bleue) et la fonction d'interpolation de longueur finie résultante (courbe rouge).

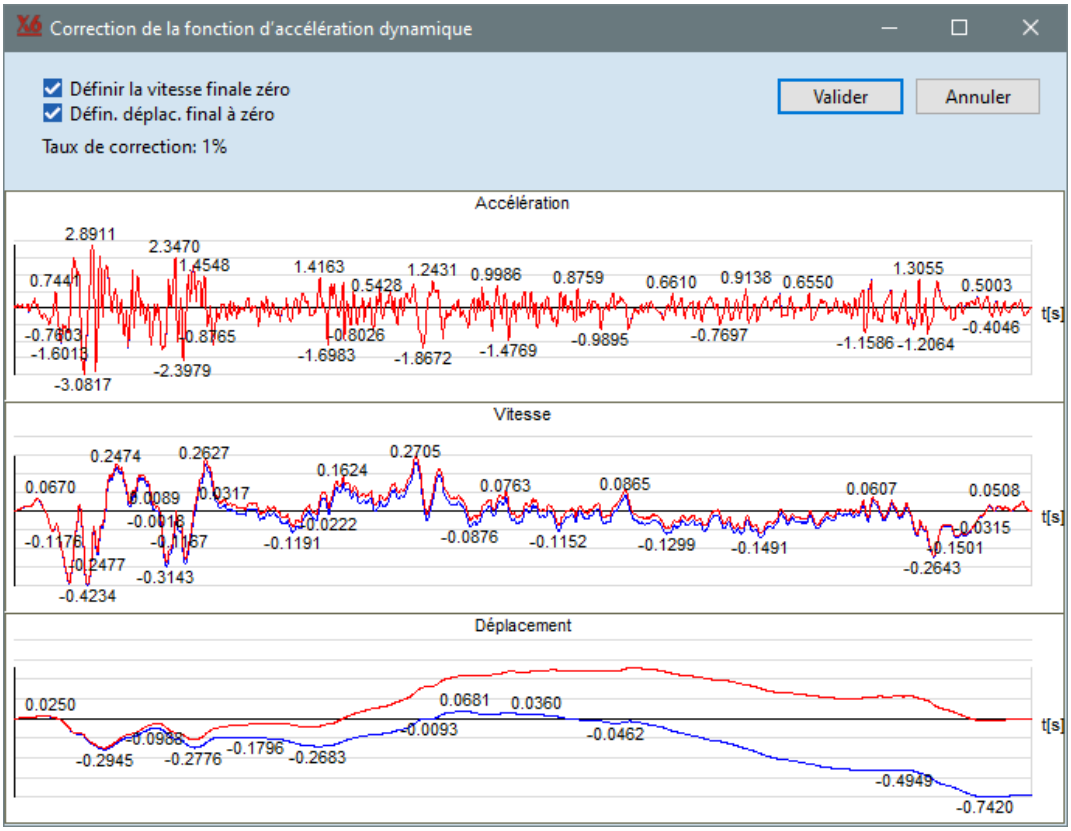


Sur l'image suivante, on peut voir ensemble les extrémités ondulées obtenues avec la formule d'interpolation originale de Whittaker-Shannon (courbe noire) et l'extrémité lisse avec l'interpolation par ondelettes (courbe rouge). Les cercles bleus montrent les points échantillons de la fonction originale. On peut voir qu'au milieu de la partie de grande amplitude de l'enregistrement, les fonctions continues reconstruites obtenues avec les différentes fonctions d'interpolation coïncident presque. Mais aux extrémités, seule la courbe rouge est lissée.



☞ **La méthode d'interpolation Whittaker-Shannon n'est disponible que pour les fonctions obtenues à partir d'un échantillonnage équidistant.**

Correction de l'enregistrement de l'accélération pour produire une vitesse finale nulle et/ou un déplacement final nul



Les enregistrements de l'accélération des tremblements de terre mesurés ne produisent généralement pas exactement une vitesse nulle et un déplacement nul à la fin de l'enregistrement, en raison des imprécisions de mesure. La vitesse finale non nulle apparaît comme un mouvement infini des appuis avec une vitesse constante au-delà de la fin de l'enregistrement. Le déplacement final non nul fait que les appuis s'arrêtent hors de leur position initiale à la fin de l'enregistrement. Toutes ces inexactitudes peuvent être éliminées en appliquant une petite modification à l'enregistrement de l'accélération. Le type de correction peut être sélectionné par les cases à cocher. Le graphique bleu montre l'enregistrement original et le graphique rouge montre l'enregistrement corrigé. Le *taux de correction* est défini par le rapport entre les valeurs efficaces de la modification et de l'enregistrement original.

$$Taux\ de\ correction = \frac{RMS\big(a_{corr}(t) - a(t)\big)}{RMS\big(a(t)\big)} = \frac{\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T \big(a_{corr}(t) - a(t)\big)^2 dt}}{\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T a^2(t) dt}}$$

où a(t) est l'enregistrement original et $a_{corr}(t)$ est celui qui a été corrigée.
La méthode de correction mise en œuvre est similaire à celle proposée par Wilson [39, annexe J.4].

La vitesse et le déplacement à la fin de l'enregistrement sont

$$V = \int_0^T a(t)dt \qquad U = \int_0^T (T - t)a(t)dt$$

L'enregistrement corrigé est calculé par

$$a_{corr}(t) = \begin{cases} \big(1 + c_1^+ h_1(t) + c_2^+ h_2(t)\big)a(t) & if \quad a(t) \geq 0 \\ \big(1 + c_1^- h_1(t) + c_2^- h_2(t)\big)a(t) & if \quad a(t) < 0 \end{cases}$$

où $h_1(t) = \frac{T-t}{T}$ et $h_2(t) = \frac{t}{T}$ sont des fonctions de pondération et c_1^+, c_1^-, c_2^+, c_2^- sont la correction facteurs.

La fonction de pondération $h_1(t)$ se concentre sur la correction due au déplacement final non nul au début de l'enregistrement, tandis que $h_2(t)$ sur concentre sur la correction due à la vitesse finale non nulle jusqu'à la fin de l'enregistrement. Les quatre facteurs de correction sont déterminés à partir des quatre critères suivants. La vitesse finale et le déplacement après la correction doivent être nuls ou égaux

à leurs valeurs initiales selon l'état des cases à cocher. Le montant des corrections appliquées à la partie positive et à la partie négative de l'enregistrement doit être égal.

Bien que les formules précédentes soient écrites comme des fonctions continues du temps, les calculs sont effectués sur les séries temporelles discrètes de l'accélérogramme.

Fonctions de diagramme et de rapport



Imprimez le diagramme et le tableau.



Copiez le diagramme et le tableau dans le presse-papiers.



Lancez le créateur de rapports.



Enregistrez le diagramme dans les archives. Voir... *2.10.5 Archives*



Une fonction préalablement enregistrée dans la bibliothèque peut être chargée en sélectionnant son nom dans la liste déroulante.



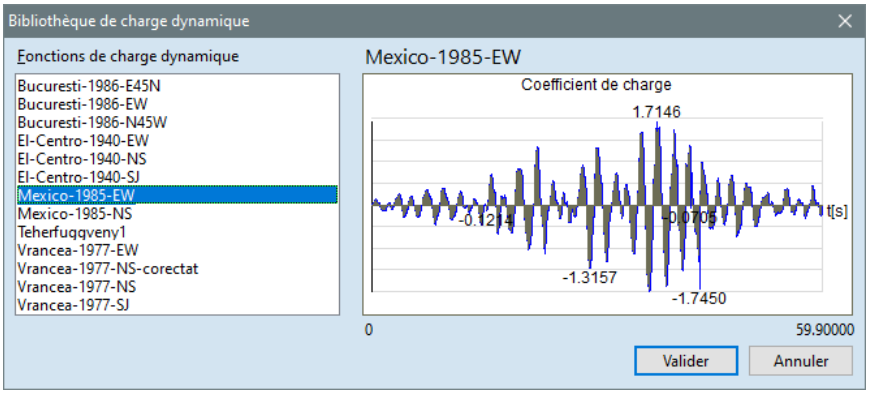
Renommez la fonction actuelle.



Enregistrez la fonction actuelle dans la bibliothèque.



Charger une fonction de la bibliothèque.

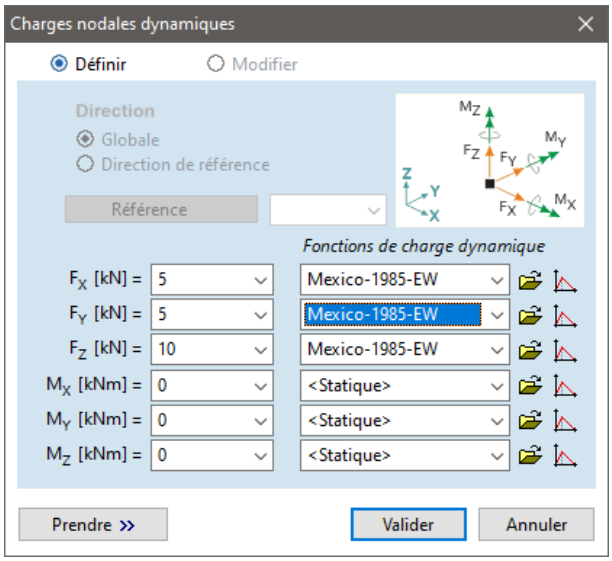


☞ **Le premier point des fonctions doit être à t=0. Cette paire de valeurs ne peut être ni modifiée ni supprimée. Si la charge n'est appliquée qu'à T > 0, la valeur de la fonction doit être nulle entre 0 et T.**

4.10.30.1. Charge nodale dynamique



Pour définir les charges nodales dynamiques, sélectionnez des nœuds et définissez les paramètres dans un dialogue. Pour chaque composante, vous pouvez attribuer une intensité et une fonction de charge dynamique décrivant la dépendance du facteur de charge par rapport au temps. Pour utiliser une fonction existante de la bibliothèque, cliquez sur la première icône à côté du combo. Pour modifier la fonction de chargement, cliquez sur la deuxième icône.
Les directions de la charge peuvent être les directions globales X, Y et Z ou la direction peut être déterminée par une référence choisie. Dans ce dernier cas, il n'y a qu'une seule composante de force et de moment.



Il est possible de définir une charge constante (indépendante du temps) en sélectionnant <Statique> *dans le combo Fonctions de charge dynamique*.

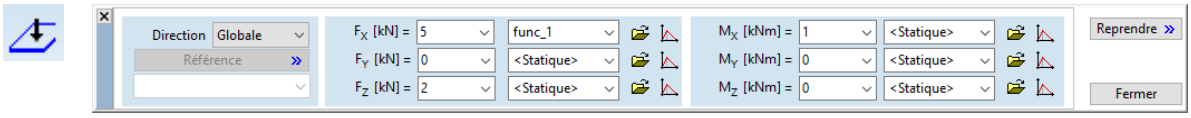
☞ **La valeur réelle d'un élément de charge en t sera calculée comme suit $F_i(t) = F_i \cdot f(t)$: l'intensité de la charge est multipliée par un facteur de charge dépendant du temps.**

Si une charge dynamique est définie pour un appui avec une charge dynamique existante, la charge existante sera écrasée.

Modifier, supprimer Les charges dynamiques peuvent être modifiées ou supprimées de la même manière que les charges statiques.

☞ Les charges dynamiques sont affichées sous forme de flèches jaunes en pointillés.

4.10.30.2. Charge dynamique concentrée sur le domaine ou le plan de chargement

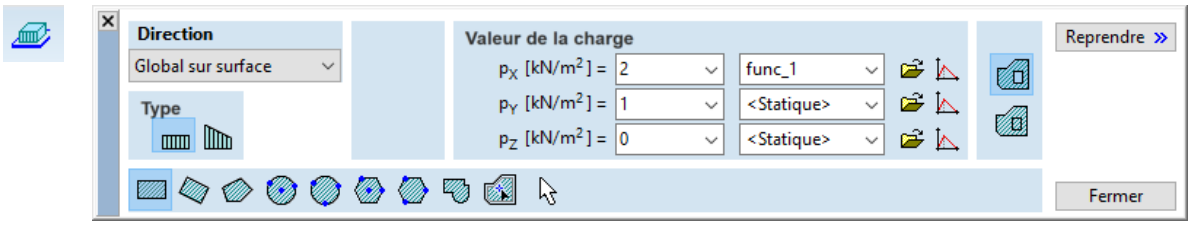


La position et la direction de la charge peuvent être définies de la même manière que celle décrite dans *4.10.5 Charge ponctuelle sur le domaine ou le plan de chargement*
Une intensité de charge et une fonction dépendante du temps peuvent être spécifiées pour chaque composant.
Les fonctions peuvent être créées et modifiées dans l'éditeur de fonctions ou chargées depuis la bibliothèque de fonctions.

☞ **La valeur réelle de la charge à un moment donné t sera l'intensité de la charge multipliée par la fonction dépendant du temps** : $F_i(t) = F_i \cdot f_i(t)$

☞ La force dynamique est représentée par une flèche jaune en pointillés.

4.10.30.3. Charge dynamique surfacique indépendante du maillage sur les domaines ou les plans de chargement



Le polygone de chargement et la direction de la charge peuvent être définis comme décrit dans *4.10.10 Domaine / Charge surfacique sur le plan de chargement*. Une intensité de charge et une fonction dépendante du temps peuvent être spécifiées pour chaque composant.
Les fonctions peuvent être créées et éditées dans l'éditeur de fonctions ou chargées depuis la bibliothèque de fonctions.

☞ **La valeur réelle de la charge à un moment donné t sera l'intensité de la charge multipliée par la fonction dépendant du temps: F_i (t)=F_i·f_i (t).**

☞ La force dynamique est affichée sous la forme d'une zone verte.

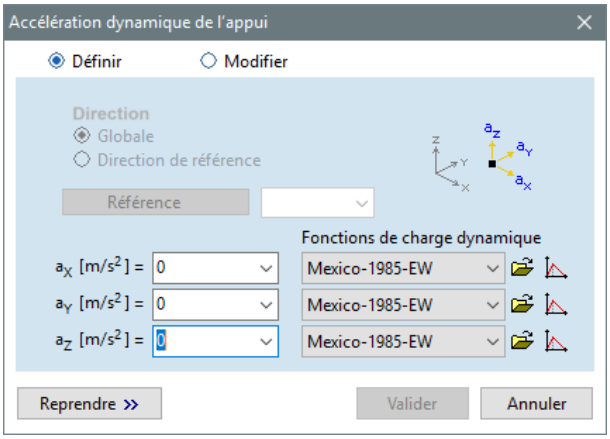
4.10.30.4. Accélération dynamique de l'appui



La fonction d'accélération peut être assignée à n'importe quel appui nodal du projet. Pour chaque composante, vous pouvez attribuer une intensité d'accélération et une fonction de charge dynamique décrivant la dépendance du facteur de charge par rapport au temps.
La valeur réelle de l'accélération à t sera calculée comme suit

$$a_i(t) = a_i \cdot f_i(t)$$

c'est-à-dire que l'accélération est multipliée par un facteur de charge dépendant du temps.



☞ **L'accélération agit au bas de la chaîne d'appui. L'accélération du nœud supporté peut être différente selon la rigidité de l'appui.**

Si l'accélération est définie pour un appui avec une charge d'accélération existante, la charge existante sera écrasée.

Si plusieurs appuis nodaux sont attachés à un nœud, l'accélération agit sur tous les appuis.

Modifier, supprimer L'accélération de l'appui dynamique peut être modifiée ou supprimée de la même manière qu'une charge statique.

☞ L'accélération de l'appui dynamique est représentée par un cercle et une flèche jaune.

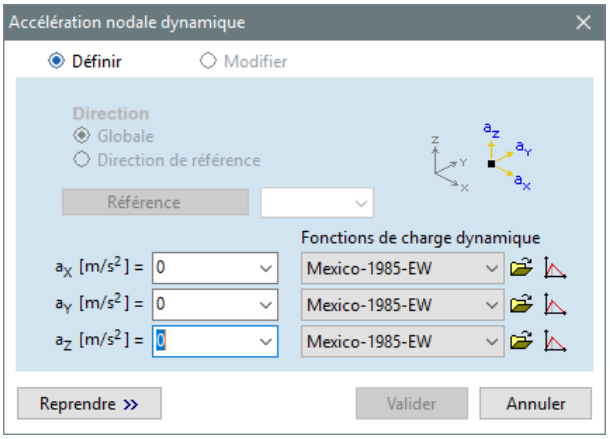
4.10.30.5. Accélération nodale dynamique



L'accélération nodale peut être attribuée à n'importe quel nœud du projet. Pour chaque composante, vous pouvez attribuer une intensité d'accélération et une fonction de charge dynamique décrivant la dépendance du facteur de charge par rapport au temps.
La valeur réelle de l'accélération en t sera calculée comme suit

$$a_i(t) = a_i \cdot f_i(t)$$

C'est-à-dire que l'accélération est multipliée par un facteur de charge dépendant du temps.



☞ **Si l'accélération est définie pour un appui avec une charge d'accélération existante, la charge existante est écrasée.**

Pour spécifier l'accélération du sol pour l'analyse sismique, il faut définir les accélérations des appuis nodaux.

Modifier, supprimer L'accélération nodale dynamique peut être modifiée ou supprimée de la même manière qu'une charge statique.

☞ L'accélération nodale dynamique est représentée par un cercle et une flèche jaune.

4.10.31. Effet du feu sur les éléments linaires en acier - module SD8

Norme

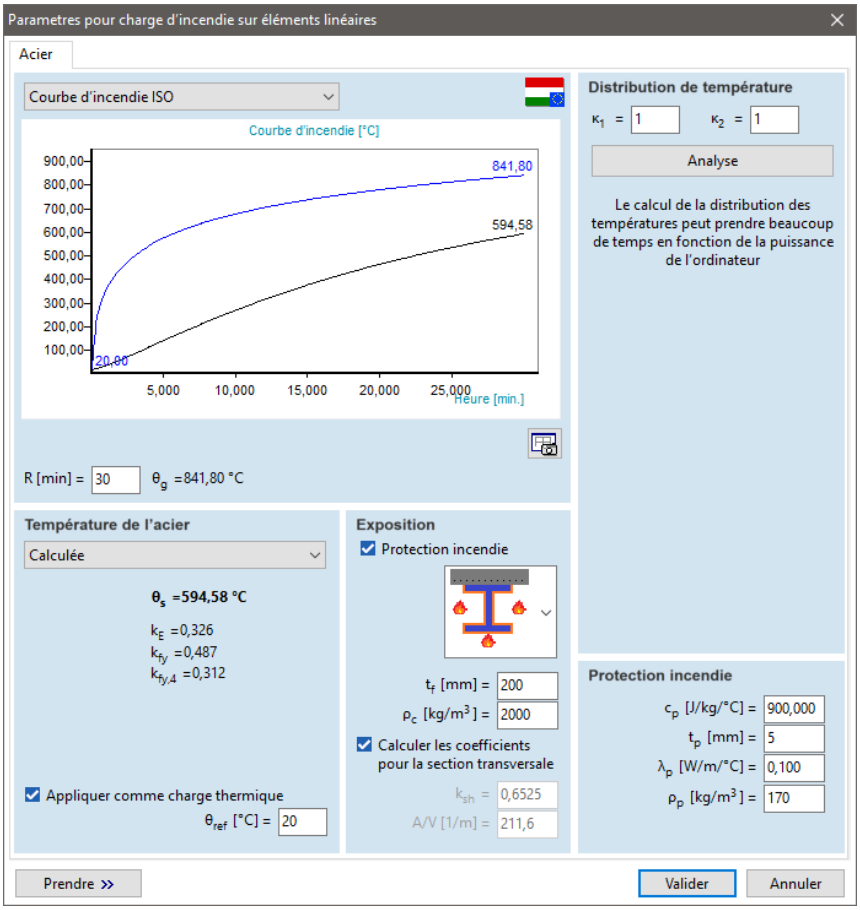
Dans AxisVM, les effets du feu peuvent être générés selon différents codes nationaux. Dans le cas des annexes nationales des Eurocodes qui ne sont pas énumérées ci-dessous, les règles générales de l'*EN 1991-1-2 et de l'EN 1993-1-2* sont appliquées.

Eurocode général	*EN 1991-1-2, Eurocode 1 Action sur les structures* *Partie 1-2: Actions générales - Actions sur les structures exposées au feu* *EN 1993-1-2, Eurocode 3: Étude des structures en acier* *Partie 1-2: Étude structurelle du feu*
CE Allemand	*DIN EN 1991-1-2:2010-12 les Annexes Nationales* *DIN EN 1993-1-2:2010-12 les Annexes Nationales*
CE Hongroise	*MSZ EN 1991-1-2:2005 les Annexes Nationales* *MSZ EN 1993-1-2:2013 les Annexes Nationales*
CE Roumain	*SR EN 1991-1-2:2004/les Annexes Nationales:2006* *SR EN 1993-1-2:2006/NB:2008*
CE Slovaque	*STN EN 1991-1-2/les Annexes Nationales:2006* *STN EN 1993-1-2/les Annexes Nationales:2008*
CE Polonais	*PN EN 1991-1-2:2006 les Annexes Nationales* *PN EN 1993-1-2 les Annexes Nationales*
CE Danois	*DS/FR 1991-1-2 DK les Annexes Nationales:2011*
CE Anglais	*BS EN 1991-1-2:2002 les Annexes Nationales* *BS EN 1993-1-2:2005 les Annexes Nationales*
CE Finnois	*SFS-EN 1991-1-2:2002 les Annexes Nationales* *SFS-EN 1993-1-2:2005 les Annexes Nationales*
CE Norvégien	*NS-EN 1991-1-2:2002/NA:2008* *NS-EN 1993-1-2:2005/NA:2009*
CE Néerlandais	NEN EN 1991-1-2:2002/NB:2011 NEN EN 1993-1-2+C2:2011/NB:2015
SIA	*SIA 261: 2020* *263: 2013*



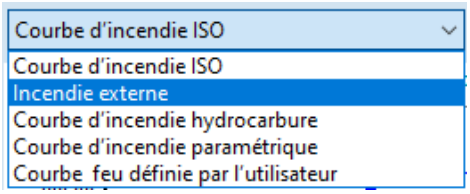
Définition de l'effet du feu

Pour définir l'effet du feu sur les éléments linéaires, cliquez sur l'icône *Définir l'effet du feu sur les éléments linéaires dans la* barre d'outils *Charges*



Choisir une courbe de feu

L'effet du feu est représenté par une courbe de feu spécifiant la température du gaz dans le compartiment à feu en fonction du temps.



Courbe standard température-temps (dite courbe de feu ISO) (EN 1991-1-2):

$$\theta_g = 20 + 345\log_{10}(8t + 1)$$

Courbe de feu externe (EN 1991-1-2):

$$\theta_g = 660(1 - 0.687e^{-0.32t} - 0.313e^{-3.8t}) + 20$$

Courbe de feu des hydrocarbures (EN 1991-1-2):

$$\theta_g = 1080(1 - 0.325e^{-0.167t} - 0.675e^{-2.5t}) + 20$$

Courbe de feu paramétrique :

$$\theta_g = 20 + 1325\left(1 - 0.324e^{-0.2t^*} - 0.204e^{-1.7t^*} - 0.472e^{-19t^*}\right) \quad t^* \le t^*_{max}$$

Phase de refroidissement :

$$\theta_g = \theta_{max} - 625(t^* - t^*_{max} \cdot x) \quad t^*_{max} \le 0.5$$

$$\theta_g = \theta_{max} - 250(3 - t^*_{max})(t^* - t^*_{max} \cdot x) \quad 0.5 \le t^*_{max} < 2$$

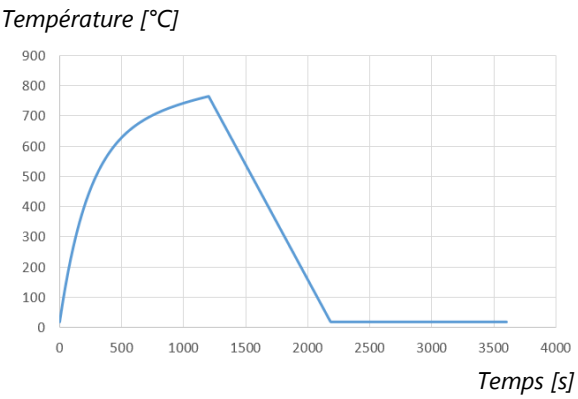
$$\theta_g = \theta_{max} - 250(t^* - t^*_{max} \cdot x) \quad t^*_{max} \ge 2$$

où

θ_g [°C]	Température du gaz
t [min]	Temps
t^* [h]	Paramètre de temps modifié

Courbe de feu paramétrique

Contrairement aux courbes d'incendie ISO, externe et d'hydrocarbures, les courbes d'incendie paramétriques ont une phase de refroidissement. En utilisant une courbe d'incendie paramétrique, des paramètres tels que la taille et la ventilation du compartiment incendie, la quantité de matériaux combustibles, etc. peuvent être pris en compte dans le calcul. Ces paramètres influencent considérablement la température maximale du gaz et la durée de l'incendie.



Selon la norme EN 1991-1-2, les courbes d'incendie paramétriques sont valables pour des compartiments coupe-feu d'une surface au sol maximale de 500 $m^{2,}$ sans ouverture dans le toit et pour une hauteur maximale de compartiment de 4 m.

Les paramètres suivants doivent être définis pour le calcul de la courbe de feu:

A_f [m2]	Surface de plancher
$q_{f,d}$ [MJ/ m^2]	Valeur de calcul de la densité de la charge d'incendie par rapport à la surface A_f du plancher
A_v [m2]	Surface totale des ouvertures verticales sur tous les murs
h [m]	Moyenne pondérée des hauteurs de fenêtres sur tous les murs
A_t [m2]	Surface totale de l'enceinte (murs, plafond et sol, y compris les ouvertures)
c_{pw} [J/kg°C]	Chaleur spécifique de la limite de l'enceinte
ρ_{pw} [kg/m3]	Densité de la limite de l'enceinte
λ_{pw} [W/m°C]	Conductivité thermique de la limite de l'enceinte

☞ **Si la limite de l'enceinte est constituée de différentes couches, c_{pw}, ρ_{pw} et λ_{pw} les paramètres doivent être donnés le paramètre résultant $b = \sqrt{c_{pw}\rho_{pw}\lambda_{pw}}$ égal à $b = \sqrt{c_{pw,1}\rho_{pw,1}\lambda_{pw,1}}\frac{A_1}{\sum A} + \cdots + \sqrt{c_{pw,n}\rho_{pw,n}\lambda_{pw,n}}\frac{A_n}{\sum A}$.**

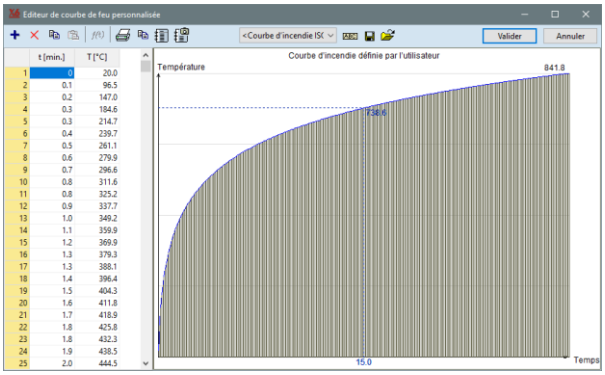
☞ **Dans le cas de la norme NEN EN, la courbe de feu paramétrique ne peut pas être sélectionnée, mais une autre courbe de feu prescriptive, à savoir la courbe de feu du tunnel RWS, est disponible.**

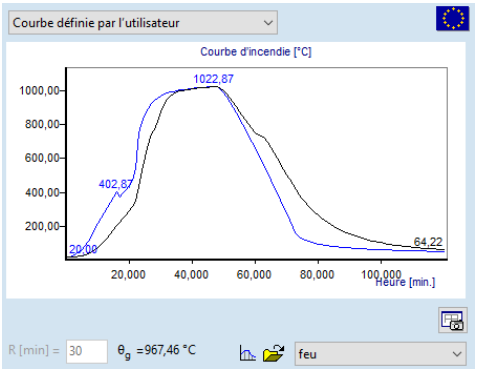
Courbe de feu définie par l'utilisateur

Une courbe de feu définie par l'utilisateur est également disponible pour définir l'effet du feu, ainsi le programme permet d'effectuer l'étude du feu en tenant compte des résultats de la simulation ou des essais de feu.

Il est important de noter que le calcul de la température de l'acier basé sur des courbes de feu prescriptives utilise l'hypothèse que la température du gaz est identique partout dans le compartiment incendie et que l'élément en acier est exposé à un rayonnement thermique identique de toutes les directions. En cas d'incendie réel, la température du gaz est généralement inférieure à celle de la courbe de feu standard ISO, par exemple. En conséquence, si nous calculons la température de l'acier avec la formule fermée de la norme EN 1993-1-2 à partir des températures du gaz enregistrées dans un feu réel comme ce serait le cas avec la courbe de feu ISO, nous pouvons sous-estimer la température de l'acier car ce calcul sous-estime la proportion de chaleur rayonnée. La solution peut être l'exploitation de la température surfacique dite adiabatique [U. Wickström, D. Duthinh, K. McGrattan ; 2007: Température surfacique adiabatique pour calculer le transfert de chaleur vers les structures exposées au feu]) (la température surfacique adiabatique peut être de 15 à 20 % supérieure à la température du gaz selon l'étude suivante [M. Malendowski, A. Glema, W. Szymkuc ; 2015: Analyse CFD-FEM couplée, basée sur les performances, d'un hall industriel haut de 3 travées soumis à un incendie naturel. dans les procédures ASFE 2015.]).

De même que le spectre sismique d'étude personnalisée, les points de la courbe de feu définie par l'utilisateur peuvent être définis dans l'éditeur de fonctions. Le nombre maximum de points est de 360.

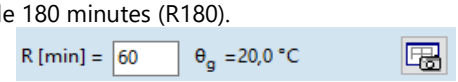




Température de l'acier

La température de l'acier est calculée automatiquement à partir de la courbe de feu sélectionnée et de la durée du feu / temps de résistance au feu requis (R15, R30, R60, etc. - où le nombre donne le temps en minutes). Cette température de calcul est ensuite utilisée dans le cadre d'étude de l'incendie de l'acier (voir... *6.6.2 Étude au feu de poutres en acier selon l'Eurocode 3 - module SD8*).

La durée maximale du feu est de 180 minutes (R180).



L'unité des paramètres d'influence, la durée de l'incendie et les températures peuvent être réglées manuellement (voir... *3.3.8. Unités et formats*).

Les diagrammes peuvent être sauvegardés dans la bibliothèque de dessins (voir... *3.6.11. Sauvegarder dans la bibliothèque des dessins*) en cliquant sur l'icône située sous le diagramme de droite. Les diagrammes sauvegardés peuvent être ajoutés ultérieurement aux rapports.

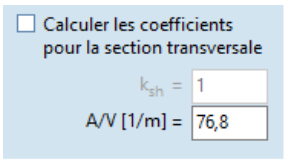
La température des éléments en acier non protégés (EN 1993-1-2 ; Δt = 5s):

$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh}\frac{A/V}{c_a\rho_a}\dot{h}_{net,d}\Delta t$$

où

k_{sh} [-]	Facteur de correction pour l'effet d'ombre (dans le cas de la norme SIA ksh = 1,0)
A/V [1/m]	Facteur de section transversale pour les éléments en acier non protégés
c_a [J/kgK]	Chaleur spécifique de l'acier (selon la norme EN 1993-1-2)
ρ_a [kg/m3]	Unité de masse d'acier
$\dot{h}_{net,d}$ [W/m2]	Valeur calculée du flux thermique net par unité surfacique

☞ **Le facteur de correction de l'effet d'ombre et le facteur de section transversale peuvent être calculés automatiquement pour les types de section transversale pris en charge (forme en I, forme de boîte, tuyau et angles).**



La température des éléments en acier protégés est (EN 1993-1-2 ; Δt = 5s):

$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{\lambda_p A_p/V}{d_p c_a \rho_a}\frac{(\theta_{g,t}-\theta_{a,t})}{1+\phi/3}\Delta t - (e^{\phi/10}-1)\Delta\theta_{g,t}$$

$$\phi = \frac{c_p\rho_p}{c_a\rho_a}\lambda_p A_p/V$$

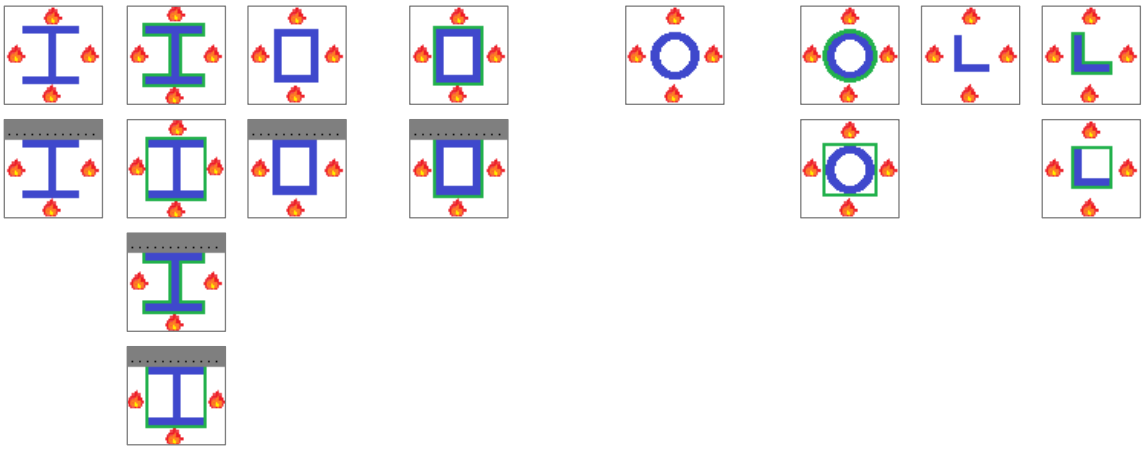
où

λ_p [W/mK]	Conductivité thermique de la protection contre l'incendie
A_p/V [1/m]	Facteur de section transversale pour les éléments en acier isolés par une protection contre l'incendie
c_p [J/kgK]	Chaleur spécifique du matériau de protection contre l'incendie, indépendante de la température
ρ_p [kg/m3]	Densité de masse du matériau de protection contre l'incendie
d_p [m]	Epaisseur du matériau de protection contre l'incendie

☞ **La température de l'acier calculée en fonction de la courbe de feu sélectionnée et de la durée de l'incendie (dans le cas d'une courbe de feu paramétrique, la température maximale calculée dans l'intervalle) peut être consultée sur le panneau Température de l'acier sous la zone combinée. Sous la température de l'acier sont indiqués les facteurs de réduction liés à la limite d'élasticité et au module de Young selon la norme EN 1993-1-2.**

Exposition

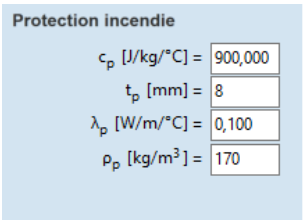
Sur le panneau *Exposition,* il est possible de définir comment la section transversale est exposée au feu. Le type d'exposition influence considérablement la valeur du facteur de correction des ombres et du facteur de section transversale. Dans le cas des types de sections transversales supportées, les types d'exposition suivants sont disponibles pour les membres protégés / non protégés :



Pour les sections transversales non prises en charge, le type d'exposition apparaît via le facteur de correction d'ombre et le facteur de section transversale (*ksh* et *A/V*) spécifiés par l'utilisateur.

Protection contre l'incendie

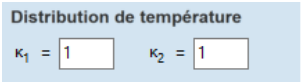
Pour les structures en acier, l'application d'une protection contre l'incendie est souvent nécessaire en raison de la finesse des éléments et du fait que l'acier a une conductivité thermique élevée. Vérifiez la *protection contre l'incendie* sur le panneau d'*exposition* pour prendre en compte une protection contre l'incendie. Dans ce cas, le panneau de protection contre l'incendie en bas à droite est activé. Les paramètres et leur importance ont déjà été montrés ci-dessus.



La présence ou l'absence de protection contre l'incendie a également un effet sur les types d'exposition.

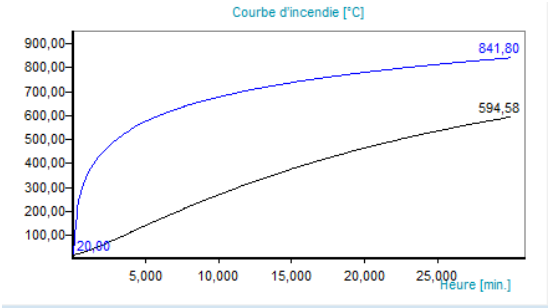
K_1 et K_2 facteurs

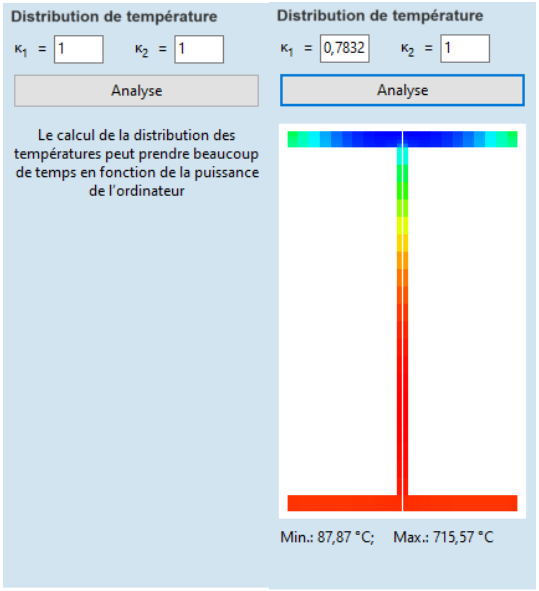
κ_1 et κ_2 sont des facteurs d'adaptation liés à une distribution non uniforme de la température sur la section transversale et le long de la poutre, respectivement, selon la norme EN 1993-1-2. Ces facteurs peuvent être réglés sur le panneau de *distribution de la température*.



Analyse de la distribution des températures

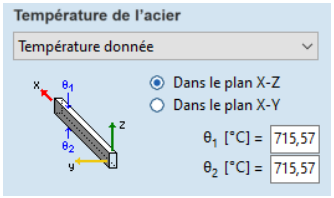
Pour les formes en I et les sections transversales en boîtes, une distribution plus précise de la température peut être calculée en cliquant sur le bouton "*Analyse*" du panneau "*Distribution de la température*". Les températures à l'intérieur de la section transversale sont calculées par la méthode des différences finies. Dans ce cas, un problème de conduction thermique bidimensionnelle est résolu.





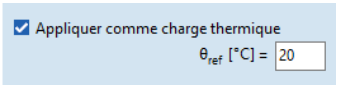
En fonction des ressources de calcul disponibles et de la symétrie du problème, le calcul peut prendre quelques secondes ou quelques minutes. L'analyse tient compte de la conductivité thermique du matériau en acier en fonction de la température, conformément à la norme EN 1993-1-2. Le diagramme montre les températures maximale, minimale et moyenne en fonction du temps.
Selon la réglementation de la norme EN 1993-1-2, en cas de répartition non uniforme de la température, la température maximale à l'intérieur de la section transversale doit être utilisée pour vérifier la capacité de charge. Ainsi, si les résultats de la distribution de la température sont disponibles, AxisVM utilise la température maximale dans les calculs ultérieurs.
κ_1 Le facteur d'adaptation lié à une distribution non uniforme de la température sur la section transversale est automatiquement calculé, mais il est possible de passer outre la valeur calculée au-dessus du bouton "Analyse".
Si la section transversale est reliée à une dalle en béton armé sur un côté, l'analyse de la distribution de la température nécessite les valeurs de l'épaisseur de la dalle et de la densité du béton.

Température donnée



Si la *température donnée* est sélectionnée sur le panneau de température de l'*acier,* une distribution de température uniforme ou linéaire peut être spécifiée. La température de calcul peut être sélectionnée comme θ_1, θ_2 ou leur moyenne. Cette température de calcul est utilisée ultérieurement dans le cadre d'étude du feu d'acier (voir... *6.6.2 Étude au feu de poutres en acier selon l'Eurocode 3 - module SD8*).

Appliquer comme charge thermique

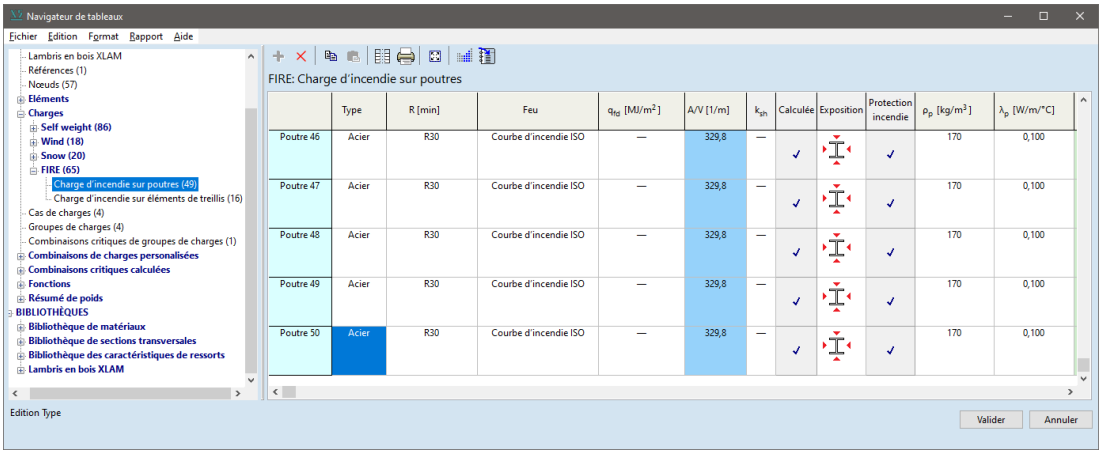


Les températures calculées et données peuvent être appliquées sur l'élément structurel comme charge thermique (voir... *4.10.20. Charge thermique sur les éléments linéaires*) pour déterminer les forces internes dues à des déformations thermiques limitées par une analyse statique linéaire.
Une température de référence doit être spécifiée (dans l'étude du feu, elle pourrait être fixée à la température ambiante).

☞ **En utilisant un projet parfait et une analyse statique linéaire, des forces internes importantes peuvent résulter de la dilatation thermique puisque les éventuelles défaillances de la stabilité locale ne sont pas prises en compte. Ces forces importantes peuvent être libérées par des défaillances et des déformations locales sans risque considérable de défaillance globale. Selon l'Eurocode, les forces thermiques peuvent être négligées dans certains cas.**

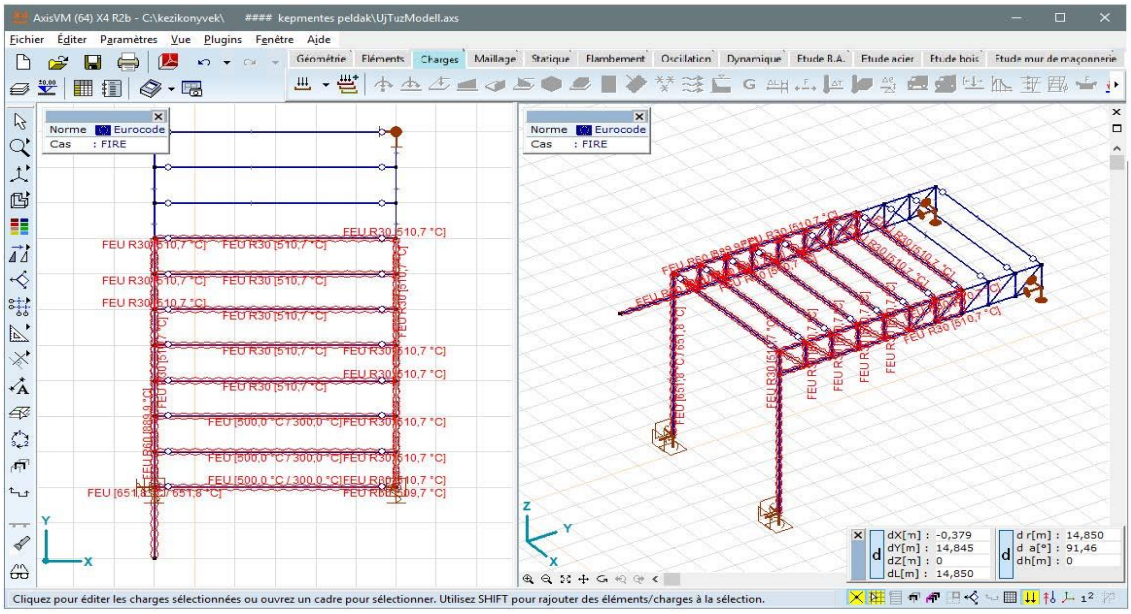
Tableau

Les paramètres de l'effet du feu pour chaque cas de charge de feu peuvent être vérifiés dans le navigateur de tableaux. Les paramètres énumérés sont les suivants : durée de résistance au feu requise, type de courbe de feu, densité de la charge d'incendie, facteur de section transversale, facteur d'ombre, type d'exposition, propriétés de la protection contre l'incendie et température de calcul de l'acier. Les tableaux peuvent être ajoutés aux rapports.



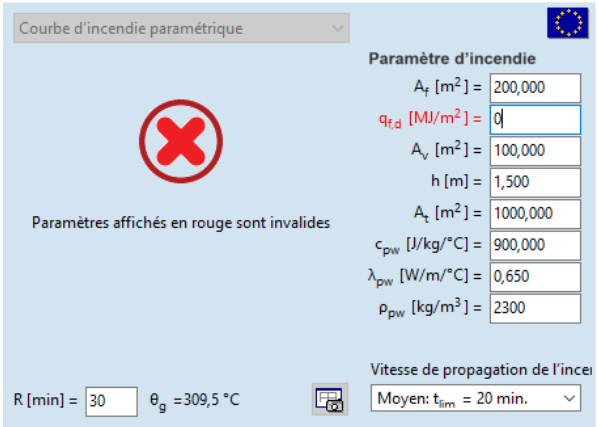
Symboles graphiques dans la fenêtre principale

Les effets du feu sont représentés dans la fenêtre principale par des lignes rouges en zigzag. Les propriétés des symboles (épaisseur, couleur) peuvent être définies dans la fenêtre *Préférences / Symboles graphiques.*



Erreurs

Si la température du gaz ou de l'acier ne peut être calculée en raison de valeurs de paramètres inappropriées, un message d'erreur apparaît.
La norme EN 1991-1-2 impose plusieurs restrictions concernant les paramètres initiaux des courbes d'incendie paramétriques (facteur d'ouverture, $b = \sqrt{c_{pw}\rho_{pw}\lambda_{pw}}$).



4.10.32. Effet du feu sur les éléments linéaires en bois - module TD8

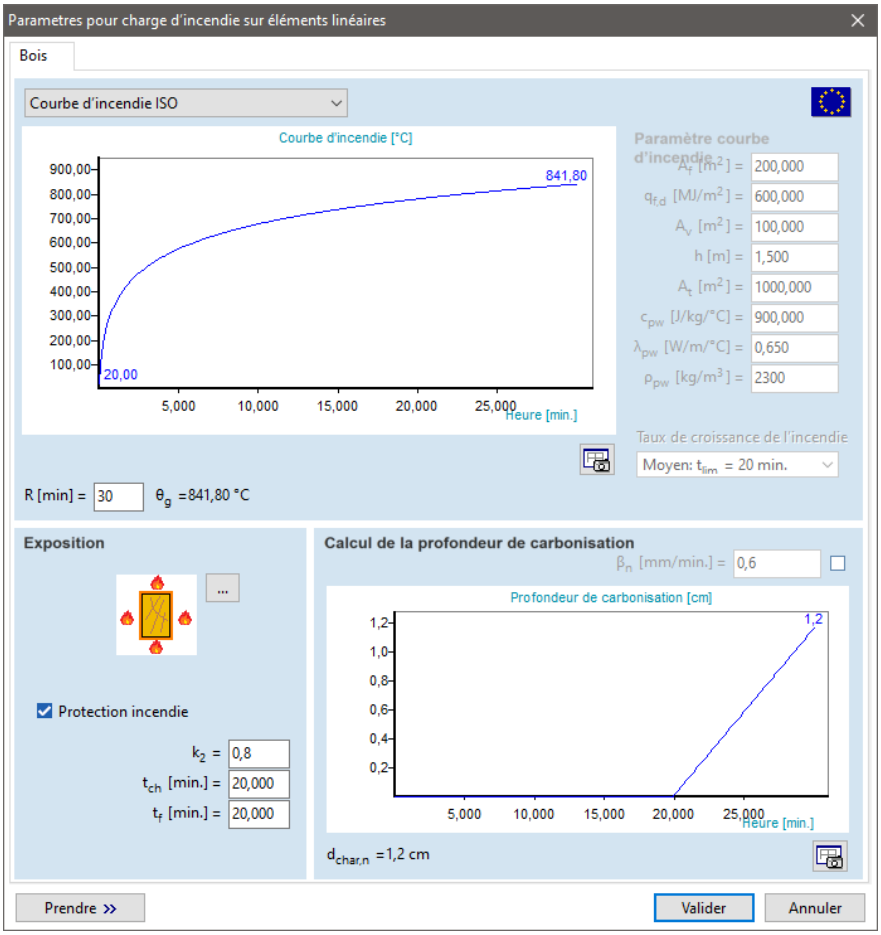
Norme

Dans AxisVM, les effets du feu peuvent être générés selon différents codes nationaux. Dans le cas des annexes nationales des Eurocodes qui ne sont pas énumérées ci-dessous, les règles générales de l'*EN 1991-1-2 et de l'EN 1995-1-2* sont appliquées.

Eurocode	*EN 1991-1-2* *Action Eurocode 1 sur les structures* *Partie 1-2: Actions générales - Actions sur les structures exposées au feu* *EN 1995-1-2* *Eurocode 5: Étude de structures en bois* *Partie 1-2: Généralités - Étude structurelle du feu*
CE Allemand	*DIN EN 1991-1-2:2010-12 les Annexes Nationales* *DIN EN 1995-1-2:2010-12 les Annexes Nationales*
CE Hongroise	*MSZ EN 1991-1-2:2005 les Annexes Nationales* *MSZ EN 1995-1-2:2013 les Annexes Nationales*
CE Tchèque	*CSN EN 1995-1-2/les Annexes Nationales 2011*
CE Slovaque	*STN EN 1991-1-2/les Annexes Nationales:2006* *STN EN 1995-1-2/les Annexes Nationales:2011*
CE Anglais	*BS EN 1991-1-2:2002 les Annexes Nationales* *BS EN 1995-1-2:2004 les Annexes Nationales*
CE Finlandais	*SFS-EN 1991-1-2:2002 les Annexes Nationales* *SFS-EN 1995-1-2:2004 les Annexes Nationales*
CE Norvégien	*NS-EN 1991-1-2:2002/NA:2008* *NS-EN 1993-1-2:2005/NA:2009*
CE Hollandais	*NEN EN 1991-1-2:2002/NB:2011* *NEN EN 1995-1-2 NB*
SIA	*SIA 261: 2020* *SIA 265: 2003*

Définition de l'effet du feu

Afin de définir l'effet du feu sur les éléments linéaires, cliquez sur l'icône *Définir l'effet du feu sur les éléments linéaires dans la* barre d'outils *Charges.*



Courbes de feu

L'effet du feu est représenté par une courbe de feu spécifiant la température du gaz dans le compartiment feu comme une fonction du temps. Dans le cas des éléments en bois, il est possible de sélectionner des courbes de feu standard et paramétriques ISO. Ces courbes de feu sont présentées et examinées dans la section transversale précédente (voir... *4.10.31. Effet du feu sur les éléments linaires en acier - module SD8*).

☞ **Dans le cas de la norme NEN EN, la courbe de feu paramétrique ne peut pas être sélectionnée.**

Calcul de la profondeur de carbonisation

La profondeur de carbonisation est calculée automatiquement à partir de la courbe de feu sélectionnée et de la durée du feu / temps de résistance au feu requis (R15, R30, R60, etc. - où le nombre donne le temps en minutes). Cette profondeur de carbonisation est ensuite utilisée dans le cadre d'étude du feu de bois (voir... *6.7.2 Étude au feu de poutres en bois - module TD8*).
La durée maximale du feu est de 180 minutes (R180).
Les sections transversales supportées sont les sections transversales rectangulaires épaisses, les sections transversales rectangulaires arrondies et les sections transversales circulaires.
Les diagrammes peuvent être sauvegardés dans la bibliothèque de dessins (voir... *3.6.11. Sauvegarder dans la bibliothèque des dessins*) en cliquant sur l'icône située sous le diagramme à droite. Les diagrammes sauvegardés peuvent être ajoutés ultérieurement aux rapports.

La profondeur de carbonisation théorique ($d_{char,n}$) des éléments de bois exposés est calculée comme suit:

Courbe de feu standard ISO (selon EN 1995-1-2 3.4.2.) - sans protection contre l'incendie:

$$d_{char,n} = \beta_n t$$

β_n (mm/min)	Taux de carbonisation théorique dans des conditions normales d'exposition au feu
t [min]	Temps

Courbe d'incendie paramétrique (selon l'annexe A de la norme EN 1995-1-2) - sans protection contre l'incendie:

$$d_{char,n} = \begin{cases} \beta_{par} t & t \le t_0 \\ \beta_{par}\left(1.5t - \frac{t^2}{4t_0} - \frac{t_0}{4}\right) & t_0 < t \le 3t_0 \\ 2\beta_{par} t_0 & 3t_0 < t \le 5t_0 \end{cases}$$

où

$$t_0 = 0.009\frac{q_{f,d}}{O} \qquad \beta_{par} = 1.5\beta_n \frac{0.2\sqrt{\Gamma} - 0.04}{0.16\sqrt{\Gamma} + 0.08} \qquad \Gamma = \frac{(O/b)^2}{(0.04/1160)^2} \qquad O = \frac{A_v}{A_t}\sqrt{h} \qquad b = \sqrt{\rho_{pw} c_{pw} \lambda_{pw}}$$

$q_{f,d}$ [MJ/ m^2]	Valeur de calcul de la densité de la charge d'incendie par rapport à la surface *A_f du* plancher
A_v [m2]	Surface totale des ouvertures verticales sur tous les murs
h [m]	Moyenne pondérée des hauteurs de fenêtres sur tous les murs
A_t [m2]	Surface totale de l'enceinte (murs, plafond et sol, y compris les ouvertures)
c_{pw} [J/kg°C]	Chaleur spécifique de la limite de l'enceinte
ρ_{pw} [kg/m3]	Densité de la limite de l'enceinte
λ_{pw} [W/m°C]	Conductivité thermique de la limite de l'enceinte

☞ **Si la limite de l'enceinte est constituée de différentes calques, c_{pw}, ρ_{pw} et λ_{pw} les paramètres doivent être donnés le paramètre résultant $b = \sqrt{c_{pw}\rho_{pw}\lambda_{pw}}$ égal à $b = \sqrt{c_{pw,1}\rho_{pw,1}\lambda_{pw,1}}\frac{A_1}{\sum A} + \cdots + \sqrt{c_{pw,n}\rho_{pw,n}\lambda_{pw,n}}\frac{A_n}{\sum A}$.**

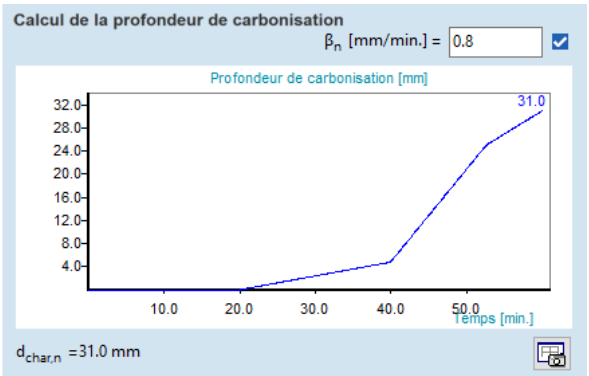
La profondeur de carbonisation théorique des éléments en bois protégés ne peut être calculée que pour la courbe de feu standard ISO selon la section transversale 3.4.3. de la norme EN 1995-1-2. Les paramètres suivants sont requis:

k_2 [-]	Coefficient d'isolation
t_{ch} [min]	Heure de début de la carbonisation des membres protégés (retard du début de la carbonisation dû à la protection)
t_f [min]	Temps de défaillance de la protection

Ces paramètres doivent être spécifiés sur la base des règles du code, de la profondeur et du type de matériau de protection contre l'incendie.

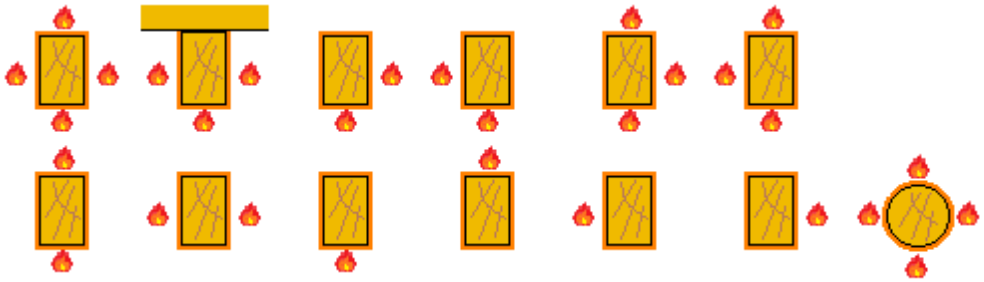
Taux de carbonisation

Le logiciel sélectionne le taux de carbonisation théorique en fonction des paramètres du matériau de bois du membre sélectionné, cependant, la valeur peut être spécifiée par l'utilisateur.



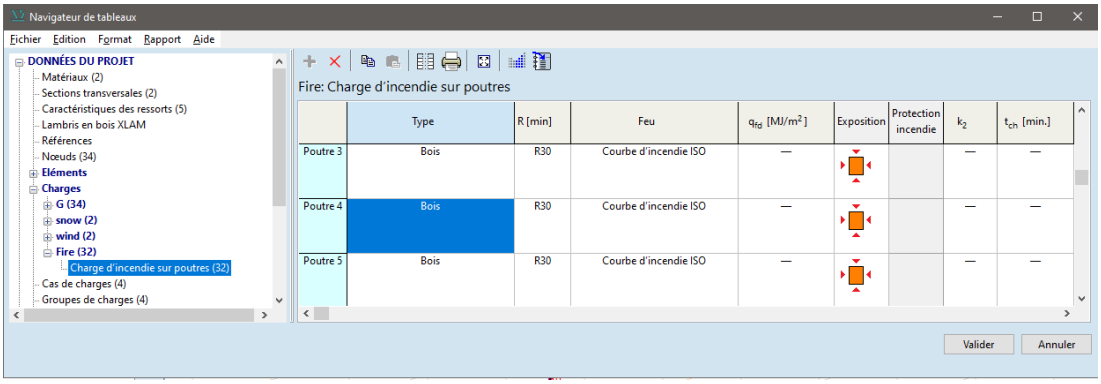
Exposition

Sur le panneau *Exposition,* il est possible de régler la manière dont le membre est exposé au feu. Le type d'exposition influence uniquement le calcul de la section transversale réduite lors d'étude de l'incendie (voir... *6.7.2 Étude au feu de poutres en bois - module TD8*). Dans le cas des types de sections transversales supportées, les types d'exposition suivants sont disponibles pour les éléments protégés / non protégés:



Tableau

Les paramètres de l'effet du feu pour chaque cas de charge de feu peuvent être vérifiés dans le navigateur de tableaux. Les paramètres énumérés sont les suivants: temps de résistance au feu requis, type de courbe de feu, densité de la charge d'incendie, type d'exposition, propriétés de la protection contre l'incendie et profondeur de carbonisation théorique calculée. Les tableaux peuvent être ajoutés aux rapports.



Symboles graphiques dans la fenêtre principale

Les effets du feu sont représentés dans la fenêtre principale par des lignes rouges en zigzag, comme pour les éléments en acier (voir... *4.10.31 Effet du feu sur les éléments linaires en acier - module SD8*). Les propriétés des symboles (épaisseur, couleur) peuvent être définies dans la fenêtre *Préférences / Symboles graphiques*.

Erreurs

Si la température du gaz ou la profondeur de carbonisation théorique ne peut être calculée en raison de valeurs de paramètres inappropriées, un message d'erreur apparaît. La norme EN 1991-1-2 impose plusieurs restrictions concernant les paramètres initiaux des courbes d'incendie paramétriques (facteur d'ouverture, $b = \sqrt{c_{pw}\rho_{pw}\lambda_{pw}}$).

4.10.33. Effet du feu sur les éléments linéaires en béton - module RC8-B

Codes de conception

Dans AxisVM, les effets du feu peuvent être générés selon différents codes nationaux. Dans le cas des annexes nationales de l'Eurocode qui ne sont pas listées ci-dessous, les règles générales de l'EN 1991-1-2 et de l'EN 1992-1-2 sont appliquées.

Eurocode	*EN 1991-1-2* *Eurocode 1 Action sur les structures* *Partie 1-2: Actions générales - Actions sur les structures exposées au feu* *EN 1992-1-2* *Eurocode 2: Calcul des structures en béton* *Part 1-2: Règles générales - Conception structurelle en cas d'incendie*
CE	*DIN EN 1991-1-2:2010-12 NA*
Allemand	*DIN EN 1992-1-2:2010-12 NA*
EC Hungrois	*MSZ EN 1991-1-2:2005 NA* *MSZ EN 1992-1-2:2013 NA*

	EC Tchèque	*CSN EN 1992-1-2/NA 2007*
	EC Polonais	*PN EN 1991-1-2:2006 NA* *PN EN 1995-1-2 NA*
	EC Anglais	*BS EN 1991-1-2:2002 NA* *BS EN 1992-1-2:2004 NA*
	EC Finnois	*SFS-EN 1991-1-2:2002 NA* *SFS-EN 1992-1-2:2004 NA*
	EC Norvégien	*NS-EN 1991-1-2:2002/NA:2008* *NS-EN 1992-1-2:2004/NA:2010*
	CE Néerlandais	*NEN EN 1991-1-2:2002/NB:2011* *NEN EN 1992-1-2 NB:2016*
	EC Letton	*LVS EN 1992-1-2:2005/NA:2014*
	EC Suédois	*BFS 2011:10 (EKS 8)*
	SIA	*SIA 261:2020* *SIA 265:2013*

Types de sections transversales prises en charge



Rectangulaire

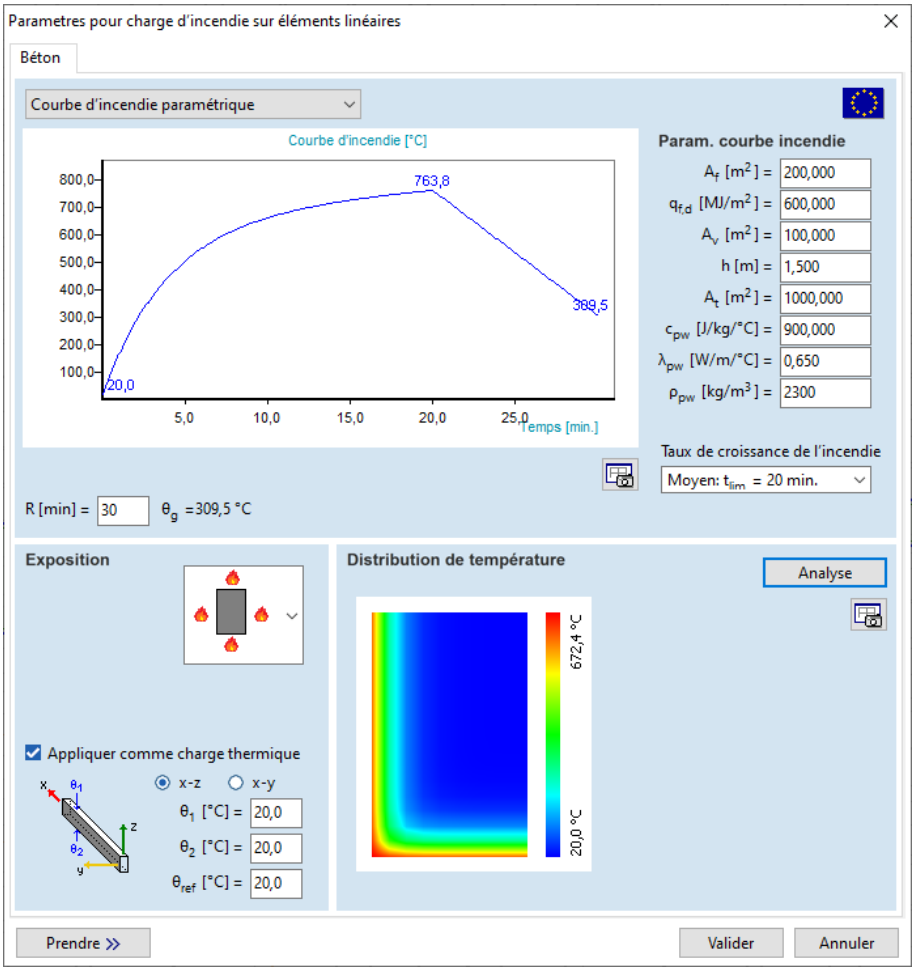


Circulaire



Définition de l'effet de feu

Cliquez sur l'icône *Définir l'effet de feu sur les éléments* de ligne dans la barre d'outils *Chargements* pour définir l'effet de feu sur les éléments de ligne.



Courbes de feu

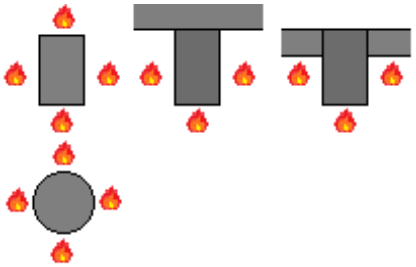
L'effet du feu est représenté par une courbe de feu spécifiant la température du gaz dans le compartiment du feu en fonction du temps. Pour les éléments en béton, des courbes d'incendie standard ISO et paramétriques peuvent être sélectionnées. Ces courbes de feu sont présentées et discutées dans la section précédente (*4.10.31 Effet du feu sur les éléments linaires en acier - module SD8*).
La durée maximale du feu est de 300 minutes (R300). La courbe d'incendie et les températures des gaz sont calculées et tracées uniquement pour la période spécifiée.
Les unités des paramètres, la durée du feu et les températures peuvent être personnalisées (voir... *3.3.8 Unités et formats).*



La courbe de feu peut être sauvegardée dans la bibliothèque des dessins. (voir... *4.10.31 Effet du feu sur les éléments* linaires en acier - module SD8). en cliquant sur l'icône sous le diagramme à droite.

Exposition

Le panneau Exposition vous permet de choisir comment la section est exposée au feu. Cette information est utilisée dans l'analyse de la température. Les cas supportés sont sur la droite.
Dans le cas des sections en T, l'effet de la dalle de raccordement est pris en compte. La seule différence entre les deux options est l'interprétation de l'excentricité de la nervure.



Appliquer comme charge thermique

Les températures calculées et données peuvent être appliquées sur l'élément structurel en tant que charge thermique (*4.10.20 Charge thermique sur les éléments linéaires*), our déterminer les forces internes dues aux déformations thermiques restreintes par une analyse statique linéaire.
La valeur par défaut n'est pas égale à la température maximale du béton. Elle est calculée en fonction de la différence entre la distribution linéaire et non linéaire des déformations thermiques afin d'avoir le même effet dans la section transversale.

Analyse de la température

La vérification d'une structure en béton armé exposée au feu doit tenir compte de la perte de rigidité et de résistance du béton et de l'acier, et de la délamination de la couche de béton extérieure endommagée.

Ces effets peuvent être quantifiés selon les spécifications du code de conception, si la distri-bution de la température dans l'élément structurel est connue.
Le logiciel résout le problème de transfert de chaleur en 2D avec une méthode de différences finies. Les paramètres dépendant de la température sont calculés conformément à la norme EN 1992-1-2. En fonction des ressources informatiques disponibles et de la symétrie du problème, le calcul peut prendre quelques secondes ou quelques minutes.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \kappa\left(\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right) + \frac{Q}{\rho c_p}$$

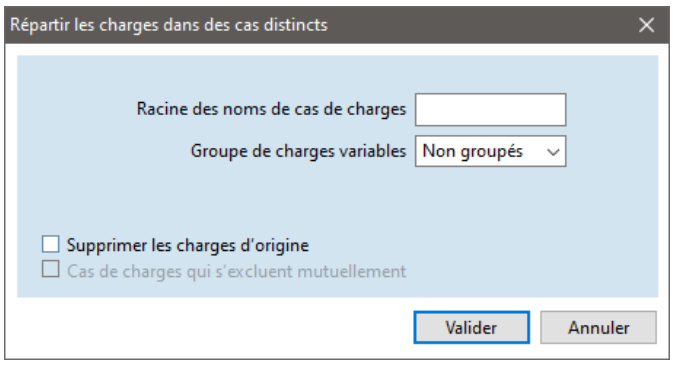
Les sections transversales (sauf la section circulaire) sont discrétisées par un maillage rectangulaire d'environ 2 centimètres. La discrétisation dans le temps utilise un pas de temps de 30 s. L'analyse de la température est validée en utilisant les profils de température de la norme EN 1992-1-2.
Les résultats de l'analyse de température sont tracés dans le dialogue. Il faut noter que cette distribution de température correspond au moment de la température maximale et que ce n'est pas nécessairement la fin du temps imparti (dans le cas de feux paramétriques, il peut y avoir une phase de refroidissement).
L'analyse de la température n'est pas effectuée automatiquement. Pour lancer le calcul, il faut cliquer sur le bouton Analyse. Les résultats et les paramètres de l'analyse de température sont enregistrés. Si un élément structurel avec des paramètres correspondants est choisi, les résultats sont chargés de sorte que la distribution de la température est immédiatement disponible.
Si la boîte de dialogue est fermée sans effectuer d'analyse de température, le logiciel calculera automatiquement les températures si nécessaire. Cependant, cela peut ralentir le processus de conception ou la génération de rapports.
Une échelle de couleurs dans le graphique permet d'identifier les zones plus chaudes et plus froides. Si vous déplacez le curseur sur le tracé, une petite fenêtre d'info-bulle indique la température locale. Un double-clic sur le tracé l'affiche dans une fenêtre plus grande. La figure peut être enregistrée dans la bibliothèque de dessins (voir *3.6.11. Sauvegarder dans la bibliothèque des dessins*) en cliquant sur l'icône située sous le bouton Analyse.
Pour un élément avec une section transversale variable, deux graphiques sont affichés. La distribution de la température dans la première section transversale est à gauche et la distribution de la température de la dernière section transversale est à droite. Les distributions de température des sections transversales intermédiaires sont interpolées linéairement entre les extrémités.

4.10.34. Fractionner des charges dans des cas de charges distinctes

Par éléments



Cette fonction copie ou déplace les charges sélectionnées dans des cas de charge distincts (créés automatiquement dans un groupe de charges variables donné). Chaque charge sera placée dans un cas de charge distinct.



Les racines des noms des cas de charge font que les cas de charge sont nommés *Racine1, Racine2, Racine3, etc.*
Sélectionnez le *groupe de charge variable* parmi les groupes de variables existants ou saisissez un nouveau nom pour créer un nouveau groupe.

☞ **Les charges appliquées à un même élément entrent dans le même cas de figure.**

Cochez *Supprimer les chargements originaux* pour déplacer les chargements dans les nouveaux cas de chargement. Sinon, les chargements seront copiés.

Par charges



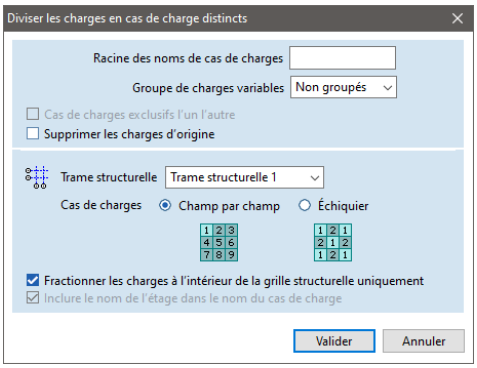
Cette fonction agit comme la précédente mais copie ou déplace les charges sélectionnées dans des cas de charge distincts, quel que soit l'élément auquel elles sont appliquées. Les charges appliquées à un même élément seront placées dans des cas de charge distincts.

Par étages

Charges existantes placées dans des cas de charge distincts selon l'étage auquel elles sont appliquées.
Découper les charges aux limites d'étage: Les charges s'étendant sur plusieurs étages sont divisées aux limites des étages uniquement si cette option est activée. Sinon, ces charges sont placées dans le cas de charge de l'étage le plus bas qu'elles couvrent.
Inclure le nom de l'étage dans le nom du cas de charge: Si cette option est activée, les noms des cas de charge générés feront référence à l'étage auquel ils appartiennent.

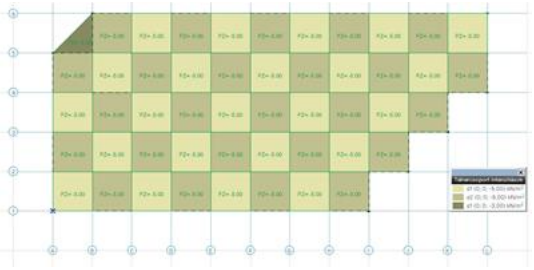
Par grille structurelle

Cette fonction divise les charges existantes le long des lignes d'une grille structurelle (voir... *2.16.8. Trames structurelles*) et place les charges résultantes dans des cas de charge séparés. Les deux options de fractionnement sont les suivantes:
Champ par champ: Chaque champ est placé dans un cas de charge distinct.
Échiquier: Les charges de champ seront placées dans deux cas de charge complémentaires suivant un modèle en échiquier.



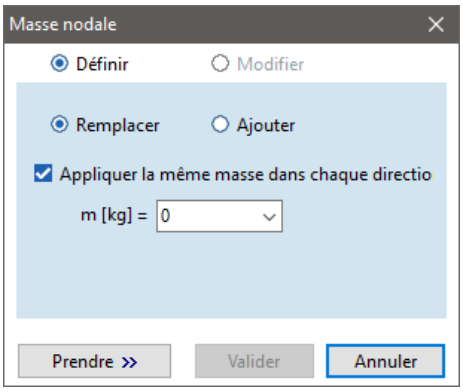
Fractionner les charges à l'intérieur de la grille structurelle uniquement: Si cette option est désactivée, les charges situées à l'extérieur des limites de la grille structurelle sont également fractionnées. Si la grille structurelle a été définie pour un cas de charge d'étage, les noms peuvent faire référence à l'étage auquel la grille appartient.

Pour afficher les charges du domaine divisées en cas de charge séparés, choisissez le codage couleur *Intensité des groupes de charge*. De cette façon, les charges de tous les cas de charge dans le groupe de charge actuel seront affichées.
Voir... *2.16.5 Codage couleur*



4.10.35. Masse nodale

Dans une analyse des vibrations, les masses sont ponctuelles sur des nœuds dont vous pouvez tenir compte par leurs composantes globales *mX, mY, mZ*. Dans l'analyse des vibrations du second ordre, les charges dues aux masses nodales sont appliquées sur le projet, ainsi que les masses dues aux charges appliquées. Si la masse est la même dans chaque direction, il suffit de spécifier une valeur après avoir vérifié *Appliquer la même masse dans chaque direction.*
Dans l'analyse dynamique, les masses nodales et les accélérations nodales donnent lieu à des charges dynamiques qui provoquent des déplacements et des forces dans le projet.



La masse nodale est affichée à l'écran sous la forme de deux cercles concentriques rouge foncé.

4.10.36. Modifier

Modifier Pour modifier les charges :

Appuyez sur la touche **[Maj]** et sélectionnez les chargements que vous souhaitez modifier (ou les éléments chargés). Vous pouvez également sélectionner en dessinant un cadre de sélection ou en utilisant la barre d'outils de sélection.

Cliquez sur l'icône du type de chargement dans la barre d'outils.

Cochez les cases à côté des valeurs que vous souhaitez modifier.

4. entrez de nouvelles valeurs.

Fermez le dialogue en cliquant sur **VALIDER**.

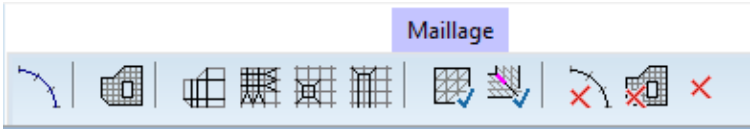
Mode immédiat Si l'onglet *Charges* est actif, cliquez sur un élément fini pour modifier ses charges. Si l'élément a plus d'une charge, une seule d'entre elles apparaîtra. Si vous avez placé différentes charges ponctuelles et distribuées sur une poutre et que vous cliquez sur la poutre, la charge la plus proche de la position du clic apparaîtra. Si plusieurs éléments finis ont été sélectionnés, leurs charges peuvent être immédiatement modifiées en cliquant sur l'un d'entre eux. Si vous cliquez sur un élément qui n'est pas sélectionné, la sélection disparaît et vous pouvez modifier la charge de l'élément sur lequel vous avez cliqué.

☞ **En fait, la modification de la charge est similaire à la définition de la charge, mais n'attribue pas de charge aux éléments non chargés et permet d'accéder à une propriété de charge spécifique sans en altérer d'autres. Vous pouvez passer au bouton radio Définir pour placer des charges sur tous les éléments, lignes ou surfaces sélectionnés. Si vous sélectionnez des éléments dont les charges ne correspondent pas au type de charge, ces charges restent inchangées.**

4.10.37. Supprimer

[Suppr] Voir... *3.2.9. Supprimer*

4.11. Maillage



En cliquant sur l'onglet *Maillage,* la barre d'outils de maillage devient disponible avec la génération de maillage pour les éléments linéaires et les domaines, les fonctions de raffinement du maillage et une vérification de la forme des éléments finis.

4.11.1. Génération de maillage

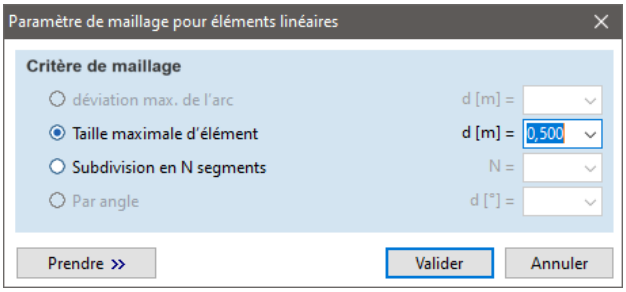
La détection automatique des lignes qui se chevauchent et des intersections manquantes pendant le maillage réduit les erreurs dans la géométrie du projet.
La prise en charge de plusieurs processeurs centraux peut réduire le temps de maillage.

4.11.1.1. Maillage d'éléments linéaires



L'analyse par éléments finis utilise des éléments linéaires de section transversale constante, de sorte que les éléments linéaires arqués et de section transversale variable (coniques) doivent être divisés en parties. C'est ce qu'on appelle le maillage des éléments linéaires. La précision de la solution dépend de la densité du maillage.
Ce maillage peut être supprimé ou modifié tout comme un maillage de domaine. La suppression d'un maillage ne supprime pas les charges et les propriétés attribuées à l'élément linéaire.
Un maillage peut également être défini pour des éléments linéaires de section transversale constante. Il est utile dans l'analyse non linéaire ou vibratoire lorsqu'il est nécessaire de diviser les éléments linéaires pour obtenir une plus grande précision.

Paramètres de maillage pour les éléments linéaires



La génération de maillage peut être effectuée selon différents critères :

Déviation maximale de l'arc : la hauteur de la corde ne peut pas dépasser la valeur indiquée.

Taille maximale des éléments : La longueur des mailles ne peut pas dépasser la valeur indiquée.

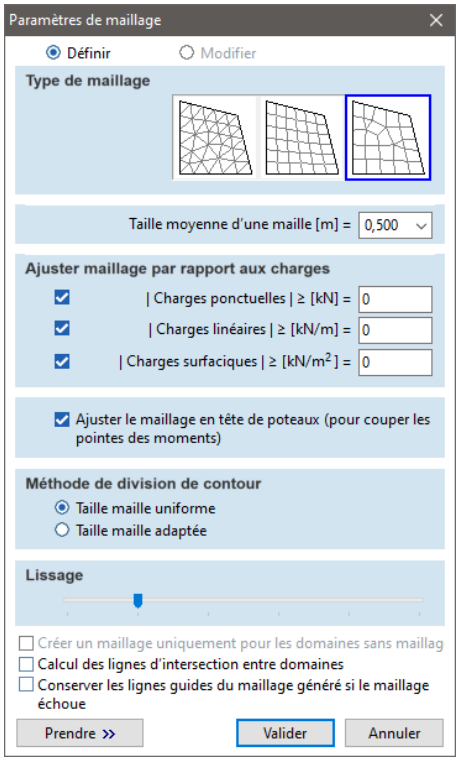
Division en segments N : Les éléments linéaires sont divisés en N parties.

Par angle : L'angle central des segments de maille arqués ne peut pas dépasser la valeur spécifiée.

4.11.1.2. Maillage des domaines



Un maillage d'éléments surfacique triangulaires peut être généré sur les domaines sélectionnés en spécifiant une longueur moyenne de côté d'élément surfacique pour le maillage. Le maillage tiendra compte de tous les trous, lignes internes et points du domaine. Les maillages peuvent éventuellement suivre les charges au-dessus d'une certaine intensité ou être ajustés aux têtes de poteau pour permettre de couper les pics de moment.



Type de maille

Le maillage peut être un maillage triangulaire, un maillage quadrangulaire ou un maillage mixte, dans lequel la plupart des éléments sont quadrilatéraux avec quelques triangles.
Si les lignes du contour du domaine, y compris les trous et les lignes internes, peuvent être divisées en quadrangles et que le maillage quadrangulaire est sélectionné, un maillage paramétrique de meilleure qualité est généré.

Taille moyenne d'une maille

Une taille moyenne de maille peut être spécifiée. Le maillage réel peut contenir des éléments plus ou moins grands.

Ajuster le maillage part rapport aux charges

Les mailles suivront les charges contrôlées si l'intensité de la charge dépasse la valeur spécifiée. Les charges ponctuelles créeront des nœuds de maillage, les charges linéaires créeront des lignes de maillage.

Ajuster la maille aux têtes de poteaux

La maille doit être correctement ajustée aux têtes de poteaux pour préparer la découpe des pics de moment. En activant cette option, le maillage est automatiquement ajusté en fonction de la géométrie de la section transversale des poteaux de raccordement. Toutes les poutres se joignant à la dalle à un angle supérieur à 45° sont identifiées comme des poteaux. Cette option doit être définie pour activer l'option *Couper les pics de moment sur les poteaux de la boîte de* dialogue *Paramètres d'affichage*. Voir... *6.1.12. Forces internes des éléments surfacique*.

Méthode de division de contour

Taille maille uniforme

Les limites des domaines et les lignes intérieures seront divisées en fonction de la taille du maillage pour garantir la taille de l'élément donné.

Taille Maille adaptée

Le maillage adapté suit la géométrie des domaines et affine le maillage en réduisant la taille des éléments partout où cela est nécessaire.

Lissage

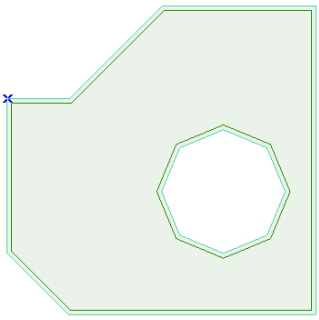
La barre de contrôle permet de contrôler le lissage de la maille. Le lissage ralentit un peu la génération des mailles. En déplaçant la poignée vers l'extrémité gauche, on obtient un lissage minimal et un traitement rapide, tandis que l'extrémité droite permet un lissage maximal avec un traitement plus lent. Le résultat du lissage dépend de la géométrie du domaine et d'autres paramètres du maillage, de sorte que le réglage d'un lissage plus élevé ne se translaté pas nécessairement par un meilleur maillage qualité.

Si la case *Créer maillage uniquement pour les domaines sans maillage* est cochée, aucun maillage ne sera créé pour les domaines déjà maillés.

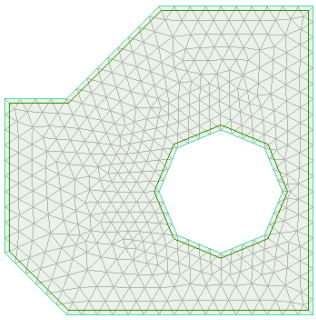
Si l'option *Calcul des lignes d'intersection entre domaines* est activée, *les* intersections de domaines sont automatiquement calculées avant le maillage.

L'avancement du processus de génération de maillage peut être suivi dans une fenêtre et peut être annulé à tout moment avec le bouton "*Abandonner*".

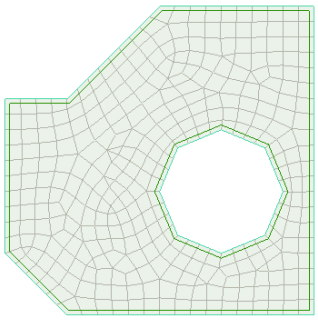
Le générateur de maillage n'utilise que les extrémités des éléments de la poutre qui se trouvent dans le plan du domaine, et ne tient pas compte des segments linéaire correspondants. Les éléments de nervure sont incorporés avec leurs segments linéaire car ils peuvent être définis sur les bords de la surface également. S'il existe des mailles quadrilatérales ou triangulaires dans le domaine, le générateur de mailles ne changera pas ces mailles et les intégrera dans la nouvelle maille.



Avant le maillage



Maille triangulaire



Maillage quadrangulaire avec triangles

☞ **Si un maillage est généré sur un maillage de domaine existant (avec une longueur moyenne de côté d'élément différente), le nouveau maillage remplacera l'existant.**

4.11.2. Affinement des mailles





Permet d'affiner le maillage des surfaces en éléments finis. Les éléments du maillage affiné ont les mêmes propriétés (matériau, section transversale / épaisseur, références, etc.) que ceux du maillage grossier.

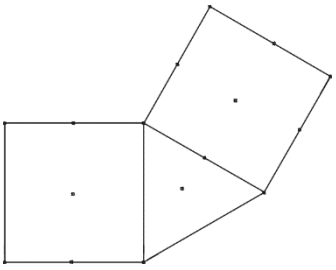
☞ **Vous devez définir manuellement les degrés de liberté nodaux du maillage nouvellement généré qui n'ont pas été définis automatiquement lors du processus de génération du maillage.**

Les options suivantes sont disponibles :

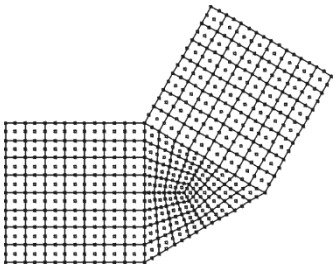
Affinement uniforme

Permet d'affiner l'ensemble du maillage sélectionné. Vous devez spécifier la longueur latérale maximale d'un élément surfacique dans le maillage affiné.





Avant le raffinement du maillage

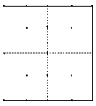


Après le raffinement du maillage

Affinement de maillage par division



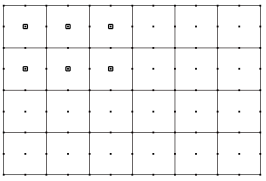
Permet d'affiner le maillage sélectionné en coupant les éléments en deux comme indiqué dans la figure.



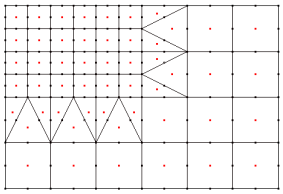
Élément quadrilatéral



Élément triangulaire



avant

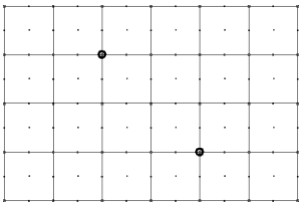


après

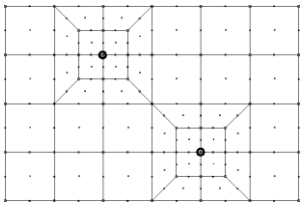
Génère ou affine un maillage autour des noeuds



Permet d'affiner le maillage autour des nœuds sélectionnés (localement autour des poteaux, des appuis nodaux). Vous devez spécifier un rapport de division (0,2-0,8). La commande permet d'affiner le maillage en divisant les éléments connectés aux nœuds respectifs par le rapport défini.



avant

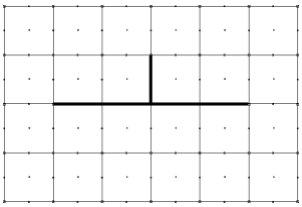


après

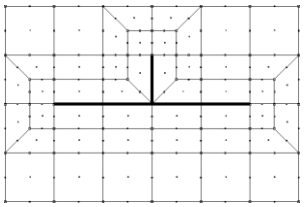
Génère ou affine un maillage le long des bords



Cette commande vous permet d'affiner le maillage le long des bords sélectionnés (localement le long des appuis/charges des bords). Vous devez spécifier un rapport de division (0,2-0,8). La commande permet d'affiner le maillage en divisant les éléments connectés aux bords respectifs par le rapport défini.



avant



après

4.11.3. Vérification du maillage



Le programme vérifie l'angle minimum des éléments finis surfacique (α).

Un élément fini triangulaire est déformé si $\alpha \leq 15$.
Un élément fini quadrilatéral est déformé si $\alpha \leq 30$.

4.11.4. Selectionner les bordures libres



Cette commande sélectionne toutes les arêtes connectées à un seul élément de surface. Cette sélection permet de trouver les arêtes où les maillages de deux domaines ne sont pas connectés à cause d'un problème d'édition.

4.11.5. Supprimer toutes les mailles



Supprimer les maillages des éléments linéaires



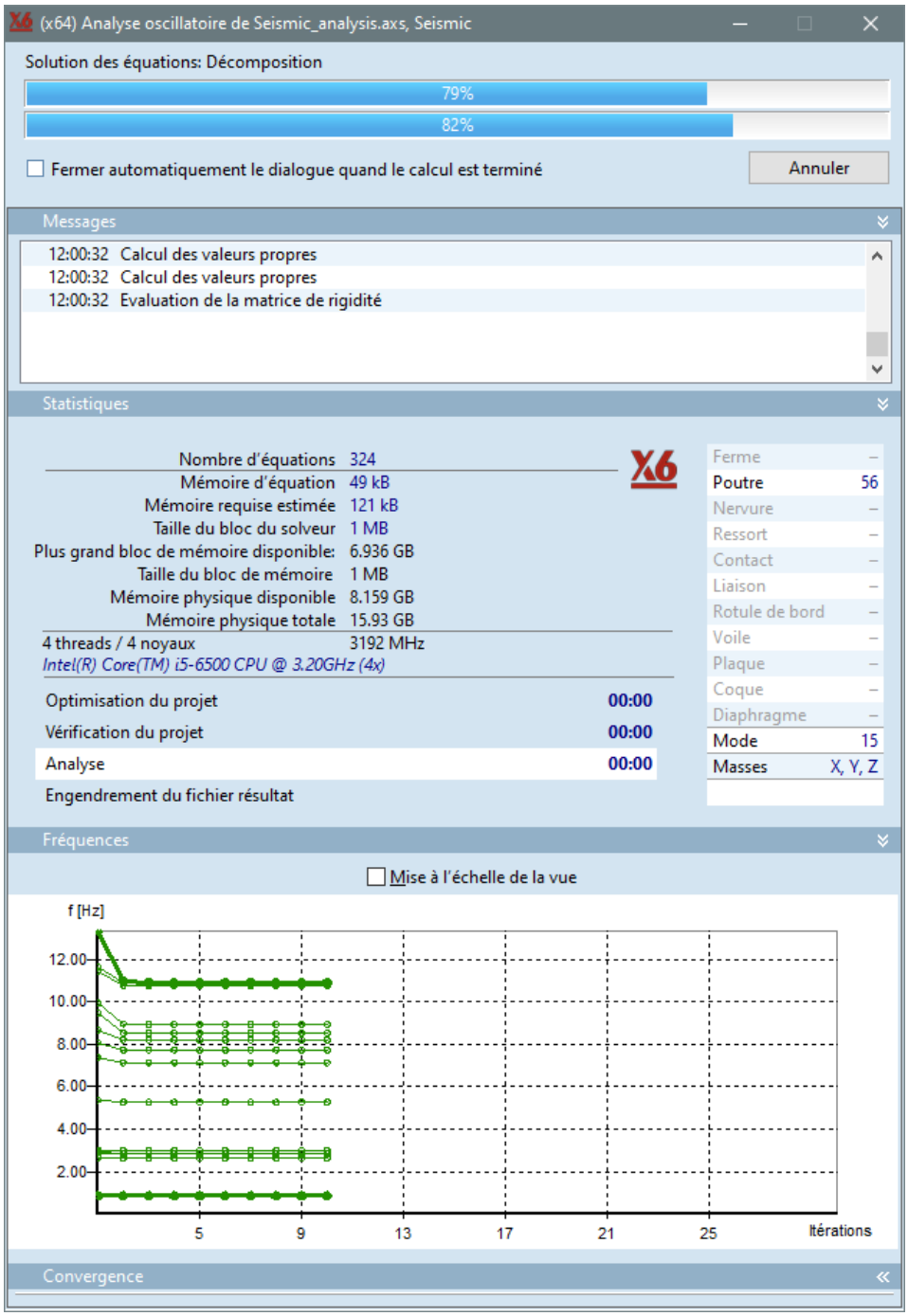
Supprimer maillage de tous les éléments surfaciques



Supprimer tout le maillage

5. Analyse

AxisVM Cette commande vous permet d'effectuer des analyses statiques linéaires et non linéaires, des analyses dynamiques linéaires et non linéaires, des analyses de vibrations et de flambement. Il met en œuvre une architecture orientée objet pour la méthode des éléments finis.
Les instructions incluses dans ce manuel de l'utilisateur supposent une connaissance préliminaire de la méthode des éléments finis et une expérience de la modélisation. Notez que l'analyse par éléments finis n'est qu'un outil et ne remplace pas le jugement technique.



Chaque analyse comprend les étapes suivantes:

1) Optimisation des projets
2) Vérification du projet
3) Réalisation de l'analyse
4) Génération du fichier de résultats

Les détails de l'analyse peuvent être affichés en développant un ou plusieurs détails de catégories. Le panneau "*Messages*" affiche le journal des messages d'analyse. Le panneau *Statistiques* indique les besoins en mémoire, les informations sur le matériau, les détails du projet et les temps de calcul.

Catégories spéciales :

Analyse non linéaire : Le *suivi* affiche les mouvements du nœud suivi. *Convergence :* montre la convergence du processus d'itération.
Analyse des vibrations : *Fréquences :* indique comment les *fréquences* convergentes. *Convergence :* montre le processus de convergence.
Analyse de flambement : Les *valeurs propres montrent* comment les valeurs propres convergent, *Convergence* montre le processus de convergence.
Analyse dynamique : Les *pas de temps* affichent le mouvement du nœud suivi, *Convergence* montre le processus de convergence.



Les paramètres de la dernière analyse sont enregistrés dans le fichier projet et peuvent être étudiés dans la boîte de dialogue Info projet. Voir... *2.16.20 Informations sur le projet*

Optimisation des projets

Pour réduire le temps d'analyse et l'empreinte mémoire, AxisVM optimise l'ordre des nœuds. Si le nombre total de degrés de liberté est supérieur à 1000, il crée un graphique interne en trois dimensions à partir de la géométrie du projet et commence à partitionner le système d'équations en utilisant la méthode de la sous-structure. Le système est stocké sous la forme d'une matrice éparse. Les paramètres du système d'équations optimisé n'apparaissent qu'à la fin de ce processus. Ce processus permet d'obtenir la plus petite empreinte mémoire et le temps de calcul le plus rapide, mais il suppose que le plus gros bloc s'insère dans la mémoire disponible. Si ce n'est pas le cas, AxisVM stocke le système sous forme de matrice de bande et commence à réduire la largeur de bande du système par une renumérotation itérative des nœuds. Si les deux plus longues rangées s'intègrent dans la mémoire disponible, le système peut être résolu. Les modifications des besoins en mémoire pour la matrice de bande sont affichées en temps réel. La durée du processus d'optimisation et l'empreinte mémoire finale dépendent de la taille du système et de la mémoire disponible.

☞ **Le système d'équations peut être résolu le plus efficacement si l'ensemble du système s'inscrit dans la mémoire physique. Si le système n'entre pas dans la mémoire physique mais que son plus grand bloc y entre, le temps de fonctionnement sera modéré.**
Si le plus gros bloc ne rentre pas dans la mémoire physique, les opérations nécessaires sur le disque peuvent ralentir considérablement la solution.

Vérification des projets

Les données d'entrée sont vérifiées au cours de la première étape. Si une erreur est détectée, un message d'avertissement s'affiche et vous pouvez alors décider d'annuler ou de poursuivre l'analyse

Réalisation de l'analyse

AxisVM affiche l'évolution du processus de solution par deux barres de progression. La barre du haut affiche l'étape en cours, tandis que l'autre affiche la progression globale du processus d'analyse.

Les équations d'équilibre dans le sens des degrés de liberté restreints ne sont pas incluses dans le système d'équations. Par conséquent, pour obtenir des réactions d'appui, vous devez modéliser les conditions d'appui à l'aide d'éléments d'appui.

La méthode de CHOLESKY est appliquée à la solution des équations d'équilibre linéaire.
Les problèmes de valeur propre sont résolus par la méthode d'itération subspatiale.

Erreur de la solution

L'erreur de solution est calculée à partir de la solution d'un cas de charge avec un résultat connu. Il s'agit d'une bonne estimation de l'ordre des erreurs dans les résultats de déplacement pour d'autres cas de charge.
La palette Info indique cette erreur sous la forme E(EQ).
Si la valeur de E (Eq) est supérieure à 1E-06, la fiabilité des résultats calculés est douteuse. On s'attend à ce que l'erreur des déplacements soit du même ordre.

Génération du fichier de résultats

Pendant le traitement des résultats, le programme trie les résultats selon l'ordre d'origine des nœuds et les prépare à l'affichage graphique.

Dans les chapitres suivants, nous montrerons le réglage des paramètres de chaque méthode de calcul.

5.1. Analyse statique

Le terme "*statique*" signifie que la charge ne varie pas ou que la variation dans le temps peut être ignorée sans risque.

Statique linéaire



Effectue une analyse statique linéaire. Le terme *linéaire* signifie que la réponse calculée (déplacement, force interne) est linéairement liée à la charge appliquée.
Tous les cas de charge sont résolus dans l'analyse. Grâce à la linéarité géométrique, on suppose que les déplacements restent dans les limites de la théorie des petits déplacements. Grâce à la linéarité des matériaux, il est supposé que tous les matériaux et les caractéristiques de rigidité sont linéaires-élastiques. Les matériaux attribués aux éléments surfaciques peuvent être orthotopiques.

☞ **Voir la description de la ferme, de l'élément de contact, de l'appui, de l'isolateur sismique et du ressort au chapitre 4, sur la façon d'utiliser ces éléments dans une analyse linéaire.**

Les erreurs relatives à la fin du processus d'itération apparaissent dans la fenêtre d'information.

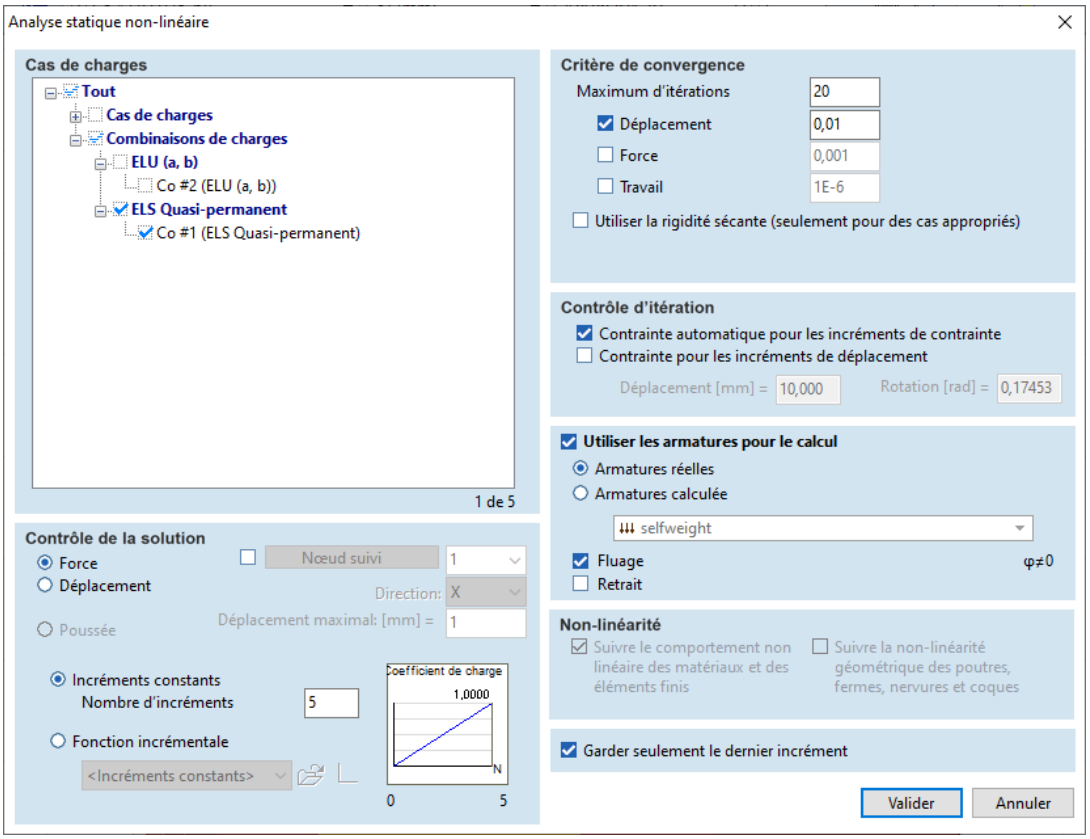
E(U): erreur relative de la convergence des déplacements
E(P): erreur relative de la convergence des forces
E(W): erreur relative de la convergence des travaux

Les valeurs indiquant l'instabilité apparaissent en rouge.

Statique non linéaire



Effectue une analyse statique non linéaire. Le terme *non linéaire* signifie que la réponse calculée (déplacement, force interne) est non linéairement liée à la charge appliquée. Cela peut être dû à l'exploitation, par exemple, d'un espace, d'un lien, d'éléments d'appui non linéaires, d'éléments linéaires/surface avec une métrique non linéaire, ou à la prise en compte de la non-linéarité géométrique.
Sélectionnez les cas de charge ou les combinaisons dans la vue arborescente.



AxisVM effectuera une analyse non linéaire pour les cas de charge / combinaisons sélectionnés et affichera un dialogue de progression.

Contrôle des solutions

Force

Lorsque le contrôle de la force est sélectionné, les incréments sont appliqués en tant que fractions des charges (en tant que charge d'un paramètre). Il est possible de suivre le déplacement d'un nœud dans une direction donnée. Un graphique de ce déplacement en fonction des incréments sera tracé pendant l'analyse.

Déplacement

Lorsque le contrôle du déplacement est sélectionné, les incréments sont appliqués en tant que fractions de la composante de déplacement du nœud spécifié.

Poussée

La commande de poussée est un type spécial de commande de déplacement qui permet l'exploitation d'un cas de charge constante tout en ayant un autre cas de charge paramétrique qui est augmenté de façon incrémentielle. C'est essentiel pour les analyses de poussée afin de modéliser correctement les effets P-Δ.

Après avoir sélectionné la commande de poussée, le haut de la boîte de dialogue change pour s'adapter aux boîtes déroulantes pour les cas de charge paramétrique et constante. Voir... *4.10.25. Charge de poussée - module SE2* pour plus de détails sur la définition des chargements et les paramètres d'analyse recommandés.

Nœud suivi, Direction, déplacement maximal

En cas de déplacement ou de contrôle par poussée, un nœud de contrôle et un degré de liberté doivent être sélectionnés. Le déplacement maximum est le déplacement maximum autorisé du nœud de contrôle dans la direction donnée.

Nombre d'incréments

Il existe deux méthodes pour définir le nombre d'incréments:

1. *Incréments égaux.* Précisez le nombre d'incréments. La valeur par défaut est 10. Lorsque le comportement hautement non linéaire est analysé, vous pouvez spécifier une valeur plus élevée afin d'atteindre la convergence.
2. *Fonction d'incrémentation. Les* charges n'augmentent pas de manière linéaire mais suivent une fonction prédéfinie. En utilisant une fonction d'incrément, il est possible de réduire le nombre d'incréments lorsque le comportement de la structure est linéaire et d'augmenter le nombre d'incréments lorsque le comportement est non linéaire. Les fonctions sauvegardées peuvent être rechargées, éditées et enregistrées sous un nouveau nom (voir... *4.10.30. Charges dynamiques (pour l'analyse temps / événement) - module DYN*). Les fonctions sont sauvegardées dans des fichiers **.inc* séparés dans le dossier *c:\ Users \ [nom d'utilisateur] \ AppData \ Roaming \ AxisVM \ [numéro de version] \ inc*.

Critères de convergence

En fonction des tolérances de convergence que vous spécifiez, AxisVM déterminera si la solution non linéaire a atteint la précision requise (convergence). Il est donc important que les tolérances de convergence soient correctement définies. Pendant le processus d'itération, la norme de la charge non équilibrée et/ou du vecteur d'incrément de déplacement itératif doit disparaître (pour s'approcher de zéro).

itérations maximales

Vous pouvez fixer le nombre maximum d'itérations en fonction des spécificités de votre projet et des paramètres de la solution incrémentielle. Par défaut, la valeur est fixée à 20. Si la convergence n'est pas réalisée dans le nombre maximum d'itérations, aucun résultat ne sera obtenu.

Déplacement / Force / Travail / Critères de convergence

Dans le cas d'un calcul non linéaire, vous pouvez spécifier plusieurs critères, en termes de charge, de déplacement et de travail, pour contrôler la convergence de la solution non linéaire. Au moins un critère doit être sélectionné. Les critères exprimés en termes de travail peuvent être adéquats pour la plupart des problèmes. Cependant, vous pouvez rencontrer une petite erreur dans votre charge non équilibrée alors que l'erreur dans les déplacements est encore importante, ou vice-versa.

Les facteurs des critères de convergence ont les valeurs par défaut suivantes: 0,001 pour les déplacements, 0,001 pour la force et 0,000001 pour le travail.

Les erreurs relatives à la fin du processus d'itération apparaissent dans la fenêtre d'information.

E(U): erreur relative de la convergence des déplacements
E(P): erreur relative de la convergence des forces
E(W): erreur relative de la convergence des travaux

Utiliser la rigidité sécante (dans les cas appropriés uniquement)

Si cette option est sélectionnée, les connexions en bout de poutre seront représentées par leur rigidité sécante au lieu de leur rigidité tangente. Cela améliore la convergence mais ralentit considérablement le calcul. Cette option n'est recommandée que si la convergence ne peut être obtenue en augmentant le nombre d'incréments et d'itérations.

Contrôle des itérations

La faible convergence d'un calcul non linéaire est souvent causée par des éléments non linéaires dont la caractéristique de contrainte-déformation varie fortement. Des exemples de tels éléments sont les éléments de contact, les fermes en traction ou en compression uniquement, les appuis ayant une force limite et les éléments structuraux en béton armé. Si la rigidité de plusieurs éléments doit être modifiée dans la même mesure, une boucle infinie d'itérations peut se produire sans atteindre la convergence. Pour éviter cette situation, le contrôle des itérations peut être utilisé. Les méthodes de contrôle mises en œuvre limitent la taille des incréments de déplacement dans les itérations critiques au lieu de diminuer la taille de l'incrément de charge. Avec cette stratégie, la convergence peut être atteinte mais de nombreuses itérations seraient nécessaires dans l'incrément critique, en raison des incréments de déplacement contraints.

Le programme effectue les étapes de calcul suivantes dans chaque itération :

1. Calcule l'incrément de déplacement pour chaque DDL causé par les charges non équilibrées.
2. Contrôle les incréments de déplacement du DDL si l'une des options de contrôle est activée.
3. Calculer d'autres résultats...

Le contrôle d'itération contient les contrôles suivants en fonction des options choisies.

Contrainte automatique pour les incréments de déformation

Sur la base des incréments de déplacement du DDL, le programme calcule les incréments de contrainte élémentaire. Si une contrainte ou une augmentation de contrainte excessive ou un changement excessif de la rigidité se produit dans l'un des éléments, le programme calcule une augmentation de contrainte autorisée qui ne cause aucun des problèmes d'opération. Après avoir vérifié tous les éléments, le programme échelonne (diminue) les incréments de déplacement de sorte qu'un changement excessif ne se produise dans aucun des éléments.

Contrainte pour les incréments de déplacement

Avec cette option, des valeurs limites personnalisées peuvent être définies pour les déplacements en translation et en rotation. Le programme échelonne (diminue si nécessaire) les déplacements du DDL de sorte que le maximum d'entre eux soit égal à la limite.

Utiliser les armatures dans le calcul

Lors de l'analyse des plaques de béton armé, il est possible de prendre en compte le renforcement réel ou la quantité requise de renforcement calculée pour un cas de charge, une combinaison de charges, une pente ou une combinaison critique.
Lors de l'analyse des plaques de béton armé, il est possible de prendre en compte les armatures calculées ou réelles.
Les déplacements et les forces internes des plaques en béton armé sont calculés selon le diagramme moment -courbure de la section transversale armée de la plaque. Ces résultats montrent la déviation réelle de la plaque et les forces dans la plaque (voir... *6.5.6. Analyse non linéaire des surfaces en B.A.*)

Dans le cas de l'analyse des poteaux et des poutres en béton armé, il est également possible de prendre en compte les armatures. Les forces internes compatibles avec les déformations sont calculées par l'intégration des contraintes de fibres aux points d'intégration de Gauss sur la base de ε *déformations* normales, κ_y et κ_z courbures en tenant compte des armatures réelles, du comportement du béton et des matériaux non linéaires (voir... *6.5.5. Analyse non linéaire des éléments de poutres et de poteaux*).

L'analyse peut être effectuée avec ou sans prise en compte de l'élasticité ou du rétrécissement. De plus amples informations sur la prise en compte de l'élasticité et de la rétraction sont disponibles dans les sections transversales susmentionnées.

Non-linéarité

Suivre le comportement non linéaire des matériaux et des éléments finis

Cette option est activée si le projet contient des éléments ayant un comportement non linéaire (par exemple, des fermes en traction uniquement ou des appuis en compression uniquement) ou des éléments ayant des caractéristiques de matériaux non linéaires (fermes, poutres, nervures, membranes, plaques, coques). S'ils ne sont pas contrôlés, tous les éléments réagiront de manière linéaire.

Suivre la non-linéarité géométrique des poutres, des fermes, des nervures et des coques

L'équilibre est établi par rapport aux éléments linéaires déformées. Selon l'ampleur du déplacement, une analyse du deuxième ou du troisième ordre est effectuée. Les charges sont conservatrices, elles gardent leur direction initiale pendant la déformation. La non-linéarité géométrique ne peut être prise en compte que pour les fermes, les poutres, les nervures et les coques. S'il n'y a pas d'éléments avec une caractéristique non linéaire dans le projet, cette option est cochée par défaut. Si le projet contient des éléments à caractéristiques non linéaires, cette option n'est pas cochée mais peut être activée.

Messages d'alerte sur la stabilité

Dans les calculs géométriques non linéaires, un problème de stabilité peut survenir par paliers. Il peut s'agir d'une perte de stabilité locale ou globale ou d'un phénomène de rupture. La charge critique d'Euler peut également être dépassée dans n'importe quelle poutre. Dans de tels cas, la procédure d'investigation suivante est recommandée

- Contrôle des formes déformées
- Analyse de flambement pour comparer les paramètres de charge critiques et les facteurs de charge dans les incréments problématiques.

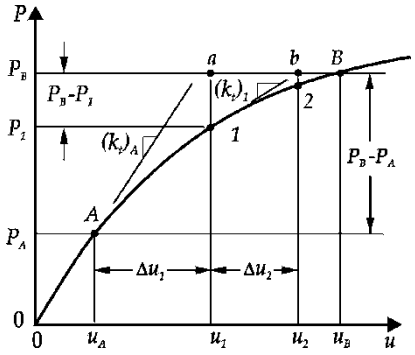
Un message d'avertissement apparaît dans la fenêtre d'information identifiant les échelons concernés.
Voir... *2.19.2. Fenêtre d'information*

☞ **Les éléments de la poutre doivent être divisés en quatre parties au moins lorsque la non-linéarité géométrique est prise en compte.**

Ne conservez que le dernier incrément

Permet de réduire la taille du fichier de résultats lorsqu'une analyse non linéaire incrémentielle est effectuée avec plusieurs incréments (charge ou déplacement) alors que seuls les résultats du dernier incrément vous intéressent. Vous pouvez activer cette case à cocher lorsque vous n'avez pas besoin des résultats des incréments précédents.

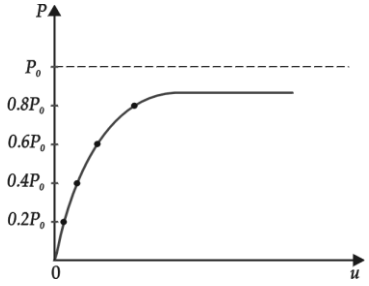
☞ **Vous devez désactiver cette case à cocher si vous souhaitez suivre la réponse charge-déplacement ou toute autre réponse (non linéaire) de la structure.**



AxisVM applique une technique d'itération de NEWTON-RAPHSON à la solution itérative de chaque incrément. La technique est connue sous différentes variantes, en fonction de la mise à jour de la matrice du système (rigidité).
Dans AxisVM *n = 1* (par défaut), la matrice de rigidité du système est mise à jour à chaque itération. Cette méthode est connue sous le nom de technique classique NEWTON-RAPHSON. de

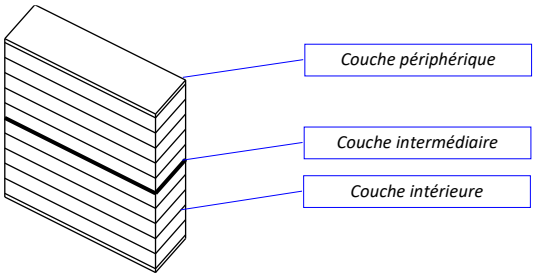
Contrôle des déplacements

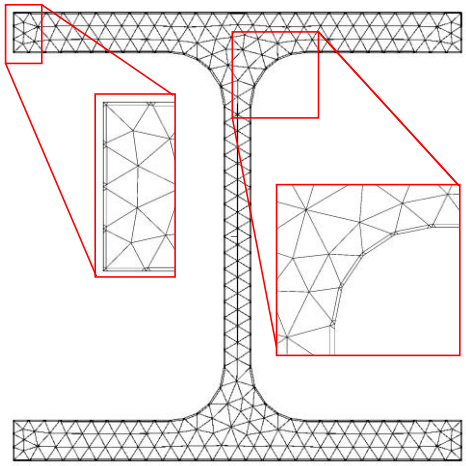
Le phénomène dit de "*snap-through*" ne peut pas être analysé avec des incréments contrôlés par la charge. Vous devez appliquer un *contrôle de déplacement* pour passer par les points de crête.
Cette figure montre un contrôle de force appliqué à un système non linéaire. La solution incrémentale échoue au 5e échelon. Pour trouver la valeur de crête des caractéristiques charge-déplacement du système, vous devez appliquer une technique de contrôle de déplacement.



Éléments finis avec matériau non linéaire

Les éléments de poutre, de nervure et surfacique en matériau non linéaire (élastique ou plastique) sont modélisés à l'aide d'un projet de section transversale discrète. Les plaques et les coques sont représentées par des couches, la section transversale des poutres et des nervures est maillée. La distribution des contraintes est déterminée en utilisant l'hypothèse de Navier (les sections transversales planes restent planes) et en appliquant le projet de matériau non linéaire sur chaque sous-élément.
Les composantes de la contrainte sont les mêmes que dans le projet de matériau linéaire. Pour les éléments surfaciques, les résultats sont obtenus dans le plan supérieur, central et inférieur, pour les sections transversales de poutre et de nervure dans les points de contrainte et le long du contour. Pour obtenir des résultats précis dans la fibre extrême, l'épaisseur des couches n'est pas égale. Dans le cas des plaques et des coques, deux fines couches périphériques sont utilisées, dont l'épaisseur est égale à un dixième de la couche interne. Le nombre de couches internes est de dix. La maille transversale des poutres et des nervures contient également une fine couche périphérique, dont l'épaisseur est égale à un dixième de la longueur des bords des éléments intérieurs. Les résultats des contraintes le long du contour sont obtenus directement à partir des éléments périphériques.

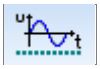




Isolateurs sismiques

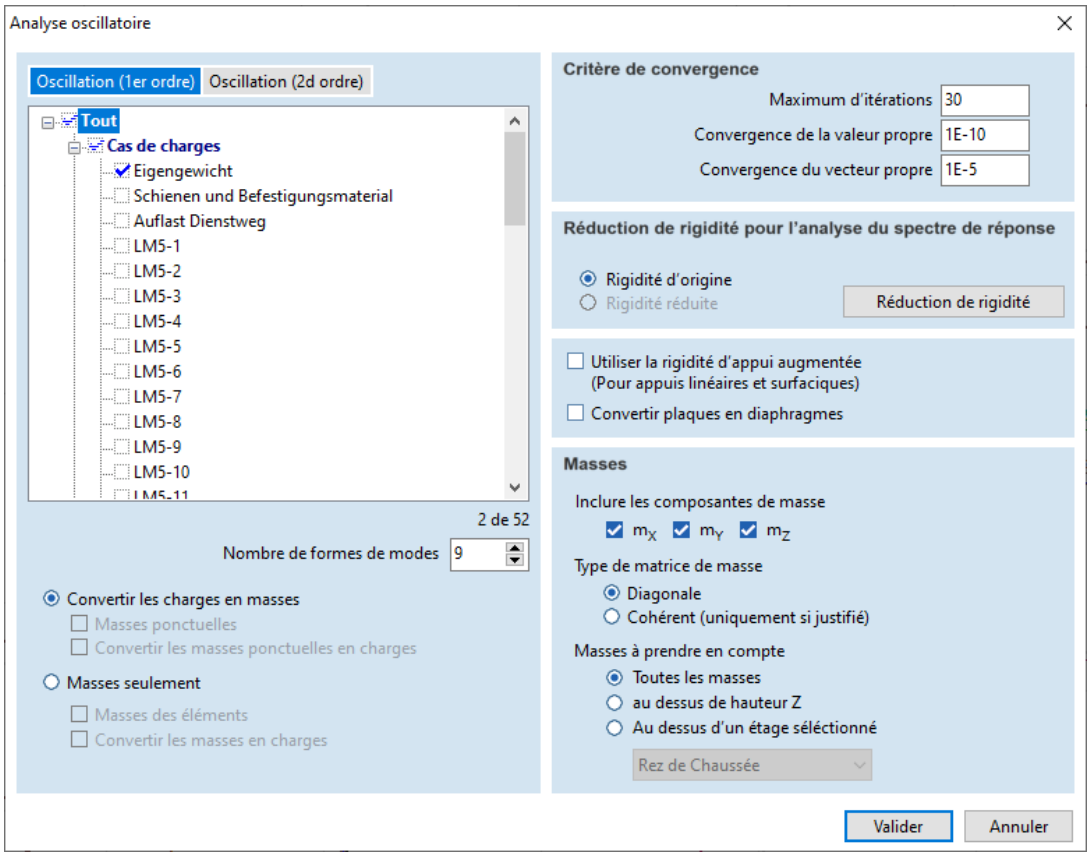
Voir... *3.1.17.2. Isolateurs sismiques*

5.2. Vibration



Cette commande vous permet de déterminer les fréquences naturelles les plus basses et les formes de mode correspondant à la vibration libre d'une structure linéaire non amortie lorsqu'aucune charge appliquée extérieurement n'est calculée. AxisVM vérifie si le nombre requis de valeurs propres les plus basses a été déterminé.
La matrice de masse du système a une structure diagonale et ne comprend que des composantes de masse en translation.
Sélectionnez les cas de charge ou les combinaisons dans la vue arborescente. AxisVM effectue une analyse des vibrations pour les cas de charge sélectionnés et affiche une boîte de dialogue de progression.

☞ **La technique de solution appliquée au problème de valeur propre généralisée associé est conçue pour trouver les valeurs propres réelles et positives les plus faibles. Elle ne convient pas pour trouver des valeurs propres qui sont nulles ou proches de zéro.**



Contrôle des solutions

Cette commande vous permet de spécifier les paramètres du processus de solution incrémentiel

Premier ordre
La solution ne tient pas compte de l'effet des forces axiales des fermes/poutres sur la rigidité du système.

Deuxième ordre
La solution comprend l'effet des forces axiales des fermes/poutres sur la rigidité du système. Les forces axiales de tension ont un effet de raidissement, tandis que les forces axiales de compression ont un effet de ramollissement. Ces effets influencent les vibrations libres de la structure.

Cas
Cette commande vous permet de sélectionner un cas. Les charges sont converties en masses. Si une analyse du second ordre est sélectionné, les résultats d'une analyse statique linéaire (du premier ordre), qui précède l'analyse des vibrations, seront également pris en compte.

Nombre de formes de mode

Cette commande vous permet de spécifier le nombre de formes de modes de vibration que vous souhaitez évaluer.

La valeur par défaut est 9, le nombre maximum de formes n'est pas limité. La valeur spécifiée ici ne peut pas être supérieure au nombre de degrés de liberté de la masse du système.

Convertir les charges en masses

Vous pouvez permettre la conversion des composantes de charge parallèles à la gravitation en masses, et prendre en compte dans l'analyse des vibrations. Les masses nodales générées peuvent être vérifiées dans le navigateur de tableaux (*Résultats / Vibration / [nom du cas de charge ou de la combinaison] / Masses nodales*).

Des masses ponctuelles : Si des masses nodales ont été définies (voir... *4.10.35. Masse nodale*), elles peuvent être incluses ou exclues de l'analyse.

Convertir les masses ponctuelles en charges : Si des masses nodales ont été définies, elles peuvent être converties en charges dans l'analyse des vibrations

Masses seulement

Vous pouvez analyser des projets sans charges, mais avec des masses, et prendre en compte les *masses des éléments*. Vous pouvez même *convertir les masses nodales en charges* dans l'analyse des vibrations.

Critères de convergence

En fonction des tolérances de convergence que vous spécifiez, AxisVM déterminera si les valeurs propres et les vecteurs propres calculés ont la précision requise. Il est donc important que les tolérances de convergence soient correctement définies.

Nombre maximum d'itérations

Vous pouvez fixer le nombre maximum d'itérations en fonction des spécificités de votre projet, et le nombre de valeurs propres demandées (plus d'itérations pour plus de valeurs propres). Par défaut, la valeur est fixée à 20. Si la convergence n'est pas réalisée dans le nombre maximum d'itérations, aucun résultat ne sera obtenu.

Convergence des valeurs propres

Permet de spécifier la tolérance de convergence des valeurs propres.

La valeur par défaut est 1E-10.

Convergence des vecteurs propres

Permet de spécifier la tolérance de convergence des vecteurs propres.

La valeur par défaut est 1E-5.

Diaphragme

Lorsque vous effectuez une analyse de vibration avec l'option *Convertir les plaques en diaphragmes* cochée, toutes les plaques (plaques horizontales) seront temporairement remplacées par des diaphragmes.

Le temps de fonctionnement est réduit si le projet ne contient que des poteaux et des dalles. Si des murs structuraux sont inclus, le nombre d'équations sera réduit mais la largeur de bande sera augmentée. Le temps de fonctionnement résultant peut être plus important que sans diaphragmes.

Réduction de la rigidité pour l'analyse du spectre de réponse

Pour plus d'informations, voir le chapitre *3.3.10. Réduction de la rigidité.*

Utiliser une rigidité d'appui accrue

Les appuis agissent de manière différente lors des vibrations. L'exploitation d'une rigidité accrue de l'appui (10^7 kN/m/m pour les appuis linéaire, 10^4 kN/m2 pour les appuis surfacique) peut aider à obtenir des résultats de vibration plus réalistes. Pour les éléments d'appui nodaux, la rigidité vibratoire du ressort est appliquée. Voir... *4.9.11. Appui nodal.*

Masses

Inclure les composantes de masse

Seules les composantes de masse vérifiées seront utilisés dans l'analyse. Elle est utile pour calculer les formes modales uniquement dans une certaine direction.

Type de matrice de masse

Diagonal: matrice de masse plus petite mais sans inerties centrifuges

Cohérent (uniquement si justifié): matrice de masse complète avec inerties centrifuges

Masses prises en compte

Ici, les masses prises en compte lors de l'analyse des vibrations peuvent être configurées. A côté *Pour toutes les masses,* il est possible de réduire les masses à celles qui se trouvent au-dessus d'une hauteur *Z* donnée ou d'un niveau donné (si le projet contient des niveaux). Un exemple pourrait être l'exclusion du sous-sol de l'analyse des vibrations.

Pour plus de détails sur le comportement des isolateurs sismiques, voir... *3.1.17.2. Isolateurs sismiques*

☞ **Le programme utilise par défaut une matrice de masse diagonale. En raison de la technique de modélisation de la masse globale, pour obtenir la précision requise, les éléments doivent être divisés en plusieurs éléments (en affinant le maillage). Habituellement, au moins quatre éléments finis doivent correspondre à chaque demi-onde.**
Une bonne règle empirique est que les poutres doivent être divisées en au moins huit éléments.

Les formes du mode sont normalisées par rapport à la masse, $\{U\}^T[M]\{U\} = 1$

5.2.1. Facteur de réponse oscillatoire



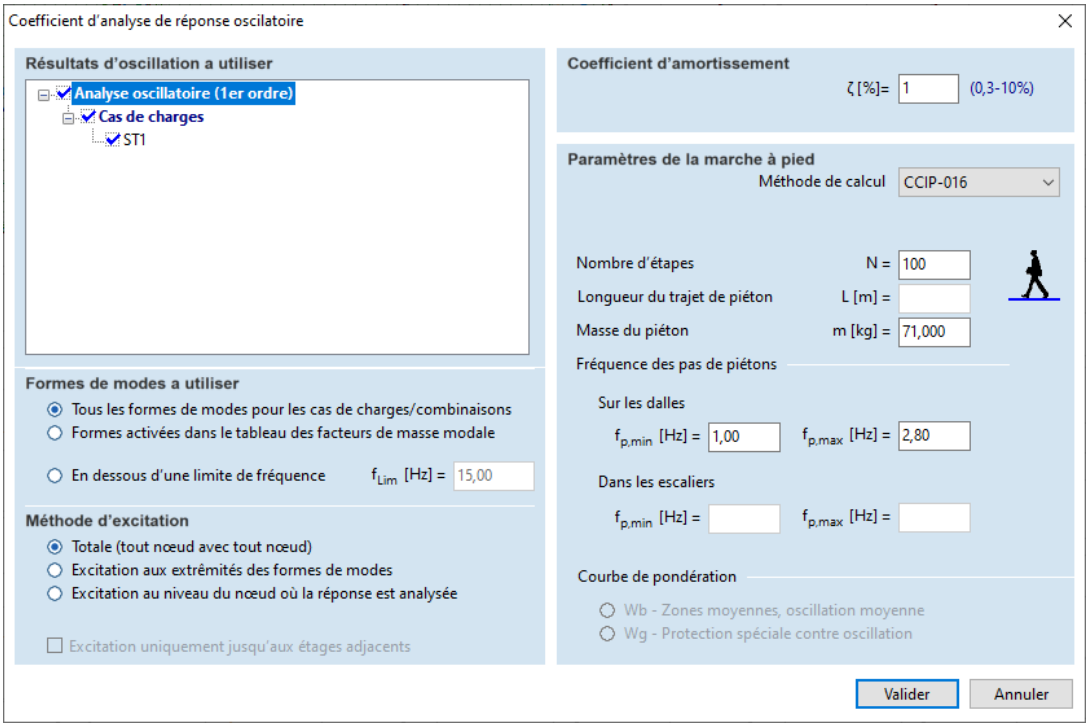
Grâce à une étude plus efficace utilisant des matériaux plus résistants et conduisant à des structures plus légères, le problème des vibrations induites par l'homme sur les sols s'aggrave. La marche peut provoquer des vibrations inconfortable ou inacceptables pour les occupants des bâtiments ou rendre impossibles des opérations délicates (par exemple, les salles d'opération, les laboratoires de précision). L'analyse des bruits de pas considère la marche comme une force d'excitation externe et détermine le facteur de réponse aux vibrations, qui est proportionnel à l'accélération maximale au nœud considéré. L'analyse de la marche n'est disponible que si la configuration comprend le module **FFA.**

Afin d'analyser la réponse d'une structure aux vibrations induites par l'homme, deux conditions doivent être remplies. Le projet doit contenir des domaines et l'angle entre leur normale et la direction de la gravité doit être inférieur à 70°. Un domaine est considéré comme une dalle si l'angle entre sa normale et la direction de la gravité est inférieur à 10°, si cet angle est compris entre 10° et 70° la surface est considérée comme un escalier. Les domaines dont l'angle entre la normale et la gravité est plus grand sont considérés comme des murs. AxisVM n'analyse pas et n'excite pas les nœuds des murs car les vibrations des murs ne provoquent pas d'inconfort.

Résultats des vibrations à utiliser

La deuxième condition préalable est une analyse des vibrations avec des résultats de premier et/ou de second ordre. Sélectionnez les résultats de vibration des cas de charge ou des combinaisons qui doivent être pris en compte (les cas de charge ou les combinaisons sans le nombre approprié de formes de mode apparaissent en rouge).

Choisissez une méthode d'excitation, définissez le rapport d'amortissement et d'autres paramètres de la charge dynamique. Le résultat de l'analyse est un facteur de réponse aux vibrations (R) pour la méthode d'excitation choisie sur les dalles et les escaliers. R doit être vérifié par rapport aux valeurs recommandées (pour plus de détails, voir le ***guide FFA*** (voir *Aide / Guide FFA)*.



Il est également important que les conditions limites et de continuité soient établies de manière à refléter le comportement plus rigide des structures pour les charges dynamiques (voir... *5.2 Vibration*, *Utiliser une rigidité d'appui accrue*). En outre, lors du calcul des formes modales, il est suggéré de prendre en compte les charges dynamiques avec une combinaison quasi-permanente (ψ_2), ce qui influence favorablement les résultats en raison de l'augmentation significative des masses modales de la structure.

Formes modales à utiliser

Toutes les formes modales pour les cas/combinaisons de charge : Toutes les formes des cas/combinaisons de charge sélectionnés seront prises en compte.
Formes activées dans le tableau des facteurs de masse modale: Les formes peuvent être rendues inactives dans le tableau des facteurs de *masse modale* (voir... *4.10.24.1. Calcul de la charges sismiques selon l'Eurocode 8*).
En dessous de la limite de fréquence, l'utilisateur peut fixer une limite pour les fréquences propres, qui apparaîtra dans le calcul. Seuls les modes ayant une fréquence inférieure seront pris en compte.

Méthode d'excitation

Trois méthodes d'excitation sont disponibles. Chacune d'entre elles crée une composante de résultat R distincte.
Plein : Tous les nœuds de dalles ou d'escaliers peuvent exciter n'importe quel autre nœud (***R plein***). C'est la méthode la plus robuste.
Excitation aux extrêmes des formes modales : L'excitation n'a lieu qu'aux deux extrêmes globaux des formes propres (***R extr.***).
Excitation au niveau du nœud où la réponse est analysée : Le nœud analysé n'est excité que par lui-même (***R self***).
Excitation jusqu'aux étages adjacentes seulement : Cette option est activée si le projet contient au moins trois étages. Si elle est cochée, le nœud analysé ne peut être excité qu'avec des nœuds sur le même étage ou sur des étages adjacents.

Amortissement

Le taux d'amortissement critique de la structure analysée peut être fixé. Des suggestions peuvent être trouvées dans [33], [34].

Paramètres de la marche à pied

Méthode d'étude Deux approches sont possibles : *CCIP-016* [33] et *SCI P354* [34]. Leurs algorithmes sont décrits dans le ***Guide FFA*** (voir *Aide / Guide FFA)*. La modification de l'approche permet d'effacer les résultats précédents.

Nombre d'étapes (CCIP-016) *La* méthode d'étude *CCIP-016* permet de réduire les accélérations de résonance car la résonance a besoin de temps pour se développer. Ainsi, le nombre de pas (la durée de l'excitation) a un effet sur les résultats.

Longueur du sentier de promenade (SCI P354) Le PCD P354 prend également en compte le même effet, mais le paramètre pertinent est la longueur du sentier de promenade. Dans cette approche, la longueur la plus défavorable doit être donnée.

Masse du marcheur Les deux méthodes permettent de s'écarter de la masse prédéfinie du marcheur.

Fréquence de l'allure AxisVM analyse l'effet des pas à plusieurs fréquences de rythme différentes dans une plage donnée. La limite inférieure et supérieure de la gamme de fréquences peut être définie ici.

Courbe de pondération *Le SCI P354* permet l'exploitation de différentes courbes de pondération. Ces courbes tiennent compte du fait que la perception humaine des vibrations varie en fonction de la fréquence.

Wb - Les surfaces moyennes, les vibrations moyennes doivent être utilisées, si le confort général doit être assuré dans le bâtiment,

Wg - Une protection spéciale contre les vibrations doit être utilisée si des mouvements précis de la main, une vision stable doit être assurés.

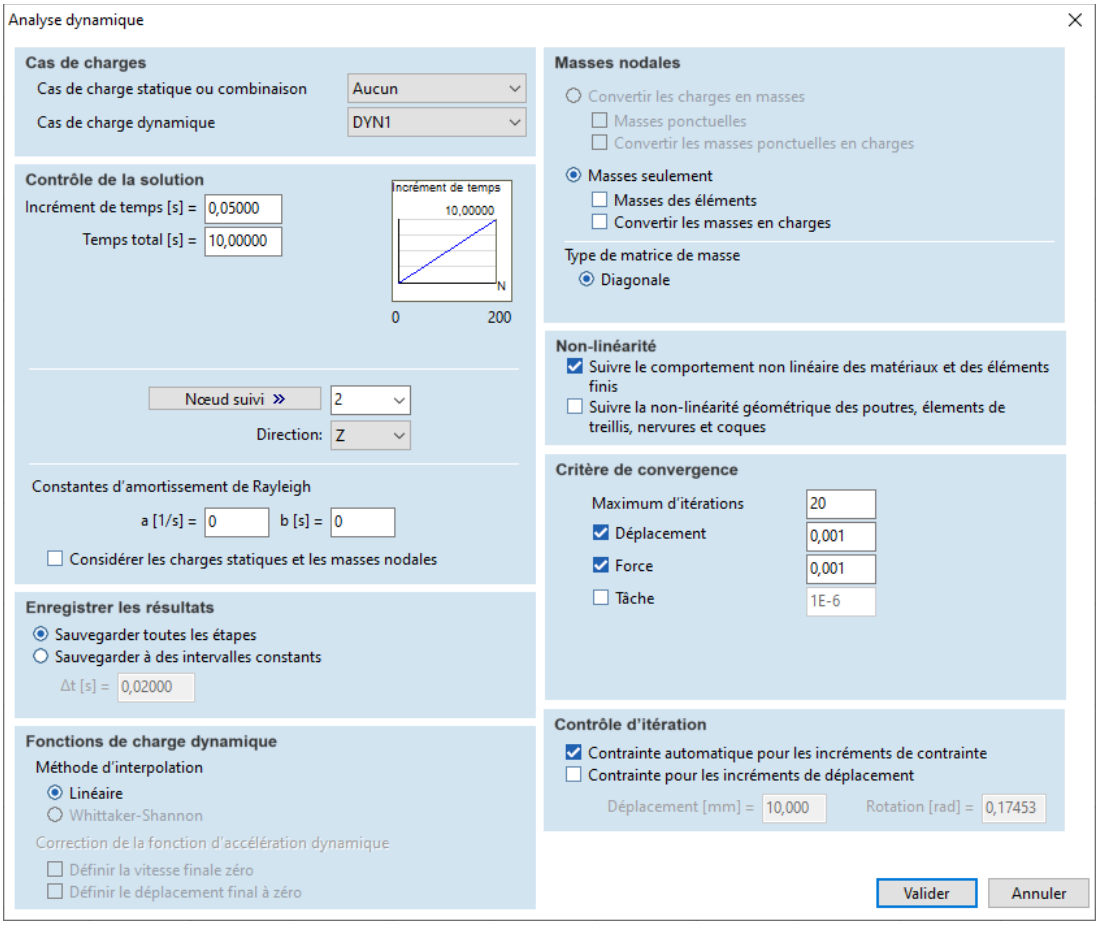
Dans la méthode d'étude *CCIP-016,* une seule pondération est appliquée.

Pour plus de détails, voir le *guide aide / FFA*.

5.3. Analyse Dynamique



L'analyse dynamique détermine les déplacements et les forces en fonction du temps dus aux charges dynamiques ou aux accélérations nodales. L'analyse dynamique peut être effectuée sur des projets linéaires ou non linéaires lorsqu'un cas de charge dynamique a été défini et qu'une charge dynamique a été appliquée à la structure.



Cas de charge

Cas de charges statiques ou combinaison

Sélectionnez le cas où la combinaison de charges statiques à appliquer pendant l'analyse. Ne sélectionnez « Aucun » pour appliquer des charges dynamiques uniquement.

Cas de charge dynamique

Sélectionnez le cas de charge dynamique ou la combinaison.

Contrôle des solutions

L'analyse peut être effectuée par incréments égaux ou selon une fonction d'incrément de temps personnalisée. Des fonctions prédéfinies peuvent être chargées ou une nouvelle fonction peut être créée à l'aide de l'éditeur de fonctions.

Si l'option *Incréments égaux* est sélectionnée, deux paramètres sont nécessaires : *Incrément de temps* et *Temps total. L*'analyse utilise la valeur de l'*incrément de* temps comme l'incrément entre les pas de temps et le *temps total* définit le temps total de l'analyse.

Nœud suivi :

Le déplacement du nœud sélectionné dans la direction donnée sera tracé pendant l'analyse.

Constantes d'amortissement de Rayleigh (a, b)

La matrice d'amortissement est déterminée à partir des constantes d'amortissement, selon les formules suivantes :

$$\mathbf{M}\underline{\ddot{u}} + \mathbf{C}\underline{\dot{u}} + \mathbf{K}\underline{u} = P(t)$$
$$\mathbf{C} = a\mathbf{M} + b\mathbf{K}$$

Si la case *Considérer les charges et les masses nodales* est cochée, une autre matrice sera ajoutée à **M** représentant les charges et les masses nodales.

Sauvegarder les résultats

En raison de la taille considérable du fichier de résultat, des options d'enregistrement des résultats sont introduites : Cocher la case *Enregistrer toutes les étapes* signifie que tous les résultats seront enregistrés. L'enregistrement *à intervalles réguliers enregistre les* résultats uniquement à certaines coordonnées temporelles du projet, ce qui réduit la taille du fichier.

Fonctions de charge dynamique

Méthode d'interpolation

Le solveur doit évaluer les fonctions de charge dynamique à chaque étape du calcul. S'il manque des points d'échantillonnage à l'un des pas de temps, une interpolation est nécessaire. Cette option n'est disponible que dans ce cas. La méthode d'interpolation sélectionnée est exécutée pour toutes les fonctions de charge dynamique utilisées dans le cas de charge sélectionné. Les fonctions interpolées ne sont pas sauvegardées dans le projet. Elles ne sont disponibles que pour le solveur. Les méthodes d'interpolation suivantes peuvent être sélectionnées:

Linéaire

Échantillonnage linéaire simple (voir... *4.10.30. Charges dynamiques (pour l'analyse temps / événement) - module DYN*. Cette méthode est recommandée si les fonctions de charge dynamique dans le cas de charge sélectionné sont linéaires par morceaux.

Whittaker-Shannon

Cette méthode est basée sur la formule d'interpolation de Whittaker-Shannon (voir... *4.10.30 Charges dynamiques (pour l'analyse temps / événement) - module DYN*. Elle est recommandée si les fonctions de charge dynamique dans le cas de charge sélectionné sont des fonctions continues échantillonnées (par exemple, des enregistrements de mesures ou des fonctions générées à partir de la composition spectrale de Fourier).

☞ **La méthode d'interpolation Whittaker-Shannon n'est disponible que pour les fonctions obtenues à partir d'un échantillonnage équidistant.**

Correction de la fonction d'accélération dynamique

Les corrections sélectionnées ont été effectuées pour toutes les fonctions d'accélération dynamique appartenant au cas de charge sélectionné. Ces options sont disponibles s'il y a des accélérations dynamiques dans le cas de charge sélectionné. Les fonctions corrigées ne sont pas enregistrées dans le projet. Elles ne sont disponibles que pour le solveur. La méthode de correction est décrite dans la section transversale *4.10.30 Charges dynamiques (pour l'analyse temps / événement) - module DYN*

Masses nodales

Les masses nodales seront prises en compte comme dans une analyse de vibration.

Type de matrice de masse

L'analyse dynamique utilise le type de matrice *Diagonal*.

Non-linéarité

Suivre le comportement non linéaire des matériaux et des éléments finis

Si des éléments non linéaires sont définis (par exemple, une ferme en traction seule), vous pouvez activer ou désactiver le comportement non linéaire.

Suivre la non-linéarité géométrique des poutres, des fermes, des nervures et des coques

Si cette option est activée, des charges seront appliquées à la structure déplacée à chaque étape.

Critères de convergence

Si l'une des options de non-linéarité est vérifiée, des critères de convergence doivent être fixés et seront pris en compte comme dans une analyse statique non linéaire. Sinon, les valeurs réelles E(U), E(P) et E(W) (leurs valeurs finales apparaissent dans la fenêtre Info) sont comparées aux valeurs de référence définies ici.

Contrôle des itérations

Ces options sont décrites dans la section transversale *5.1. Analyse statique*

Méthode de solution

Les équations d'équilibre linéaires ou non linéaires sont résolues par la méthode Newmark-beta. Si Δt est l'incrément de temps, en t + Δt que nous obtenons :

$$\mathbf{M}\ddot{\underline{u}}_{t+\Delta t} + \mathbf{C}\dot{\underline{u}}_{t+\Delta t} + \mathbf{K}\underline{u}_{t+\Delta t} = P(t)$$

où **C** est la matrice d'amortissement, **M** est la matrice de masse, **K** est la matrice de rigidité.

$$\underline{U}_{t+\Delta t} = \underline{U}_t + \Delta t \cdot \dot{\underline{U}}_t + \frac{\Delta t^2}{2}\left[(1-2\beta)\ddot{\underline{U}}_t + 2\beta\ddot{\underline{U}}_{t+\Delta t}\right]$$

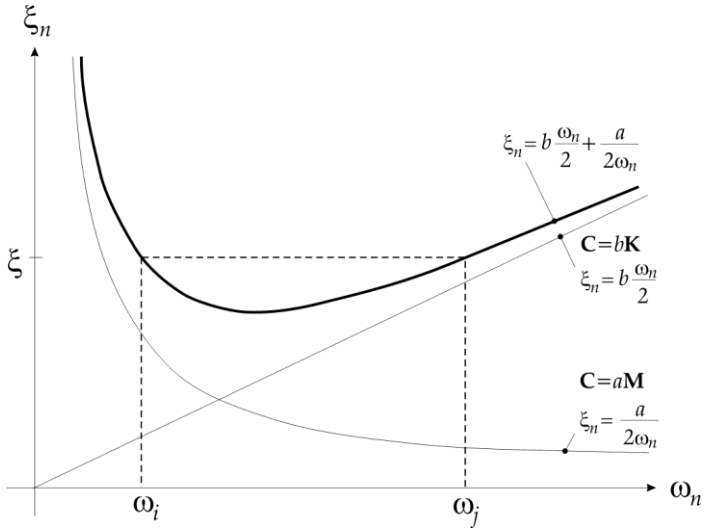
$$\dot{\underline{U}}_{t+\Delta t} = \dot{\underline{U}}_t \Delta t\left[(1-\gamma)\ddot{\underline{U}}_t + \gamma\ddot{\underline{U}}_{t+\Delta t}\right]$$

AxisVM utilise $\beta = \frac{1}{4}, \gamma = \frac{1}{2}$.

L'équation différentielle du mouvement est résolue par la méthode de l'accélération moyenne constante. Cette intégration étape par étape est inconditionnellement stable et sa précision est satisfaisante. AxisVM suppose qu'aucun effet dynamique n'est appliqué dans t = 0. *Les* charges limitées dans le temps apparaissent dans t > 0. **C** est calculé à partir des constantes d'amortissement de Rayleigh :

$$\mathbf{C} = a\mathbf{M} + b\mathbf{K}$$

Où *a* et *b* doivent être calculés à partir de la gamme de fréquences amorties (entre f_i et fj) et du rapport d'amortissement selon la figure suivante :



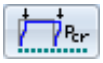
$$a = \xi\frac{2\omega_i\omega_j}{\omega_i + \omega_j}$$
$$b = \xi\frac{2}{\omega_i + \omega_j}$$

où ω_i et ω_j sont fréquences angulaires Concernant f_i et f_j:

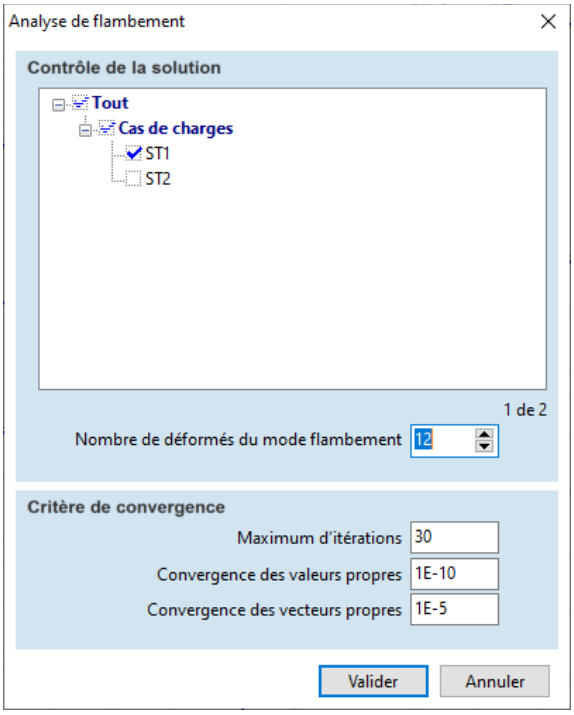
$$\omega_i = 2\pi f_i$$
$$\omega_j = 2\pi f_j$$

Pour plus de détails sur le comportement des isolateurs sismiques, voir... *3.1.17.2. Isolateurs sismiques*

5.4. Flambement



Cette commande vous permet de déterminer les multiplicateurs de charge de flambement les plus faibles (initiaux) et les formes de mode de déversement correspondantes.
AxisVM vérifie si le nombre requis de valeurs propres les plus basses a été déterminé.
Le multiplicateur de charge de flambement $n_{cr} = \lambda_{cr}$ est calculée, ce qui résout le problème de la valeur propre.λ_{cr} est la plus petite valeur propre et le vecteur propre correspondant est la forme de mode du flambement.
Le contrôle de la séquence Sturm est appliqué pour vérifier si les valeurs propres calculées sont les plus faibles. $\lambda_{cr} < 0$ Signifie que le flambement se produit pour l'orientation opposée de la charge et $\lambda_{cr}^{efficace} \leq |\lambda_{cr}|$.



☞ **La technique de solution appliquée au problème de valeur propre généralisée associé est conçue pour trouver les valeurs propres réelles et positives les plus faibles. Elle ne convient pas pour trouver des valeurs propres qui sont nulles ou proches de zéro.**

Contrôle des solutions

Sélectionnez les cas de charge ou les combinaisons dans la vue arborescente. AxisVM effectuera une analyse statique linéaire avant l'analyse de flambement des cas de charge sélectionnés.
Cette commande vous permet de spécifier les paramètres du processus de solution progressive :

Cas
Cette commande vous permet de sélectionner un cas qui sera pris en compte. Une analyse statique linéaire (du premier ordre), qui précède l'analyse de flambement, sera effectuée.

Nombre de formes de mode
Cette commande vous permet de spécifier le nombre de formes de modes de vibration que vous souhaitez évaluer. Un nombre maximum de 99 peut être demandé. La valeur par défaut est 6. La valeur propre positive la plus basse est d'importance majeure.

Critères de convergence
Voir... *5.2. Vibration* / critère de convergence

Coques Le flambement des éléments de la coque est pleinement pris en compte dans l'analyse.

Poutres/nervures Le flambement des poutres / nervures est considéré comme un flambement dans le plan (flambement par flexion), ce qui signifie que la forme déformée de l'élément reste dans un plan et que la section transversale ne se déforme pas.
Pour l'analyse du flambement, la section transversale de la poutre doit être définie en spécifiant ses principaux moments d'inertie.

☞ **Les éléments de la poutre doivent être divisés en au moins quatre éléments.**

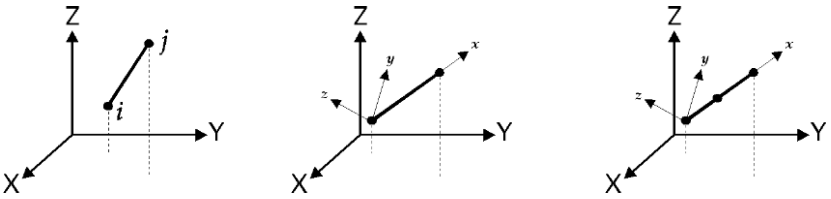
Fermes Le programme ne prend pas en compte le flambement par flexion des fermes. Vous devez calculer la charge de flambement de chaque ferme manuellement, ou en modélisant les fermes par quatre subdivisions de la ferme avec les connexions correspondantes.

☞ **Si le projet contient des fermes, le paramètre de charge critique du flambement structurel global sera uniquement calculé. Le flambement des fermes individuellement n'est pas analysé.**

Isolateurs sismiques Pour plus de détails sur le comportement des isolateurs sismiques, voir... *3.1.17.2. Isolateurs sismiques*

5.5. Éléments finis

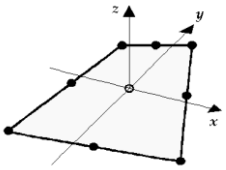
Tous les éléments finis peuvent être utilisés dans une analyse statique linéaire, statique non linéaire, vibratoire, de flambement et dynamique. Notez que tous les éléments n'ont ***pas une*** rigidité géométrique.



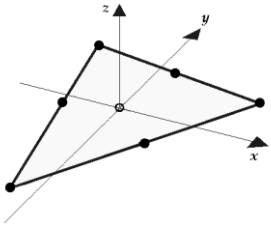
Fermes

Poutre

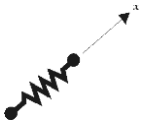
Nervure



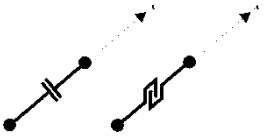
Membrane, plaque ou coque quadrilatérale



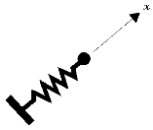
Membrane, plaque ou coque triangulaire



Ressort
(un seul élément est indiqué)

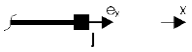
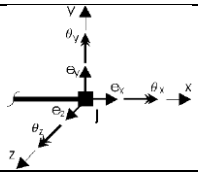
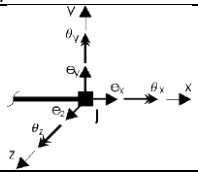
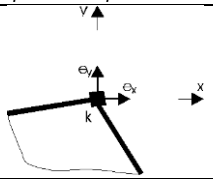


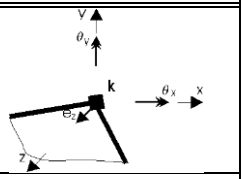
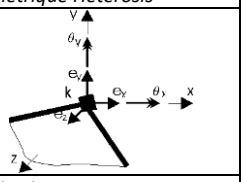
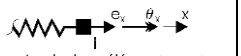
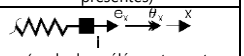
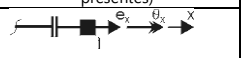
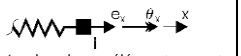
Élément de contact
(actif en compression et en tension respectivement)



Appui
(un seul élément est indiqué)

Les directions dans le système de coordonnées locales dans lesquelles un élément a une rigidité, et les composantes de déplacement local correspondantes sont résumées ci-dessous :

Élément fini	*ex* *u*	*ey* *v*	*ez* *w*	*Θx*	*Θy*	*Θz*	
Ferme	*						
	2 nœuds, linéaire, élément isoparamétrique						
Poutre	*	*	*	*	*	*	
	Type Euler-Navier-Bernoulli, 2 nœuds, élément cubique hermitien						
Nervure	*	*	*	*	*	*	
	Type Timoshenko, 3 nœuds, quadratique, élément isoparamétrique						
Membrane	*	*					
	Type sérendipité, 8 nœuds, quadratique, élément isoparamétrique						

Élément fini	*ex* *u*	*ey* *v*	*ez* *w*	*Θx*	*Θy*	*Θz*	
Plaque			*	*	*		
	Type Hughes, 9 nœuds, élément de plaque isoparamétrique Heterosis						
Coque	*	*	*	*	*		
	Membrane superposée à coquille plate et élément de plaque						
Appui	*	*	*	*	*	*	 (seuls deux éléments sont présentés)
Ressort	*	*	*	*	*	*	 (seuls deux éléments sont présentés)
Élément de contact	*						
Rigide							
Lien	*	*	*	*	*	*	 (seuls deux éléments sont indiqués pour une liaison de nœud à nœud)

où:

u, v, w indiquent les déviations dans les directions locales *x*, *y*, *z*.

Θx, Θy, Θz indiquent les rotations dans les directions locales *x*, *y*, *z*.

L'élément ***** a une rigidité dans la direction respective.

Forces internes Les forces internes calculées dans le système de coordonnées locales sont:

Élément fini	*Forces internes*							
Ferme	*Nx*							
Poutre	*Nx*	*Vy*	*Vz*	*Tx*	*My*	*Mz*		
Nervure	*Nx*	*Vy*	*Vz*	*Tx*	*My*	*Mz*		
Membrane	*nx*	*ny*	*nxy*					
Plaque				*mx*	*My*	*mxy*	*vxz*	*vyz*
Shell	*nx*	*ny*	*nxy*	*mx*	*My*	*mxy*	*vxz*	*vyz*
Ressort	*Nx*	***Ny***	*Nz*	*Mx*	*My*	*Mz*		
Élément de contact	*Nx*							
Appui	*Nx*	***Ny***	*Nz*	*Mx*	*My*	*Mz*		
Rigide								
Lien N-N	*Nx*	***Ny***	*Nz*	*Mx*	*My*	*Mz*		
Lien L-L	*nx*	*ny*	*nz*	*mx*	*My*	*mz*		

5.6. Principales étapes d'une analyse

1. définir la géométrie de la structure, les propriétés des matériaux et de la section transversale des éléments, les conditions d'appui et les charges
2. déterminer le chemin de transfert de la charge.
3. déterminer les discontinuités locales telles que les raidisseurs, les renforts, les trous
4. Déterminer le type d'éléments finis qui modélisera le mieux le comportement de la structure. Avec cette étape, les propriétés des éléments structuraux seront ponctuelles dans leur *axe* neutre (point, axe ou plan).
5. déterminer le type et la taille des mailles du projet La taille du maillage doit correspondre à la précision souhaitée des résultats et au matériau disponible.
6. créer le projet :
   a.) Géométrie équivalente
   b.) Propriétés équivalentes
   c.) Topologie des éléments
   d.) Conditions d'appui équivalentes
   e.) Charge (statique) ou masses (vibrations, spectre de réponse) équivalentes
7. vérifier les données d'entrée (exactitude, compatibilité)
8. lancer l'analyse
9. sélectionner les résultats importants
10. évaluer et vérifier les résultats
    a.) Précision et convergence de la solution
    b.) Compatibilité compte tenu du point 6.d.
    c.) Les structures peu communes doivent être analysées avec d'autres méthodes et/ou logiciels également.

    Recommencer l'analyse avec un projet mis à jour en conséquence, si à l'étape 10 un critère n'est pas satisfait.
12. évaluer les résultats au moyen de graphiques d'isolignes/isosurfaces, d'animations, de tableaux... Tirer des conclusions sur le comportement de la structure.

Modélisation

Pour construire un projet de structure, il faut accepter de nombreuses hypothèses, et donc garder à l'esprit les effets de ces hypothèses lors de l'évaluation des résultats.

La méthode des éléments finis fournit une solution approximative pour les projets surfacique. Pour que le projet corresponde à la solution réelle, vous devez utiliser des maillages d'éléments finis avec une densité appropriée. Pour réaliser des maillages par éléments finis, il faut tenir compte de la répartition des contraintes prévue, de la géométrie du projet et des matériaux, appuis et charges utilisés.

La position des nœuds et des lignes du maillage (appelée *topologie du* maillage par éléments finis) dépend des discontinuités géométriques (contours irréguliers, appuis des lignes) et des discontinuités des charges (charges ponctuelles, valeurs des charges en terrasses pour les charges des lignes).

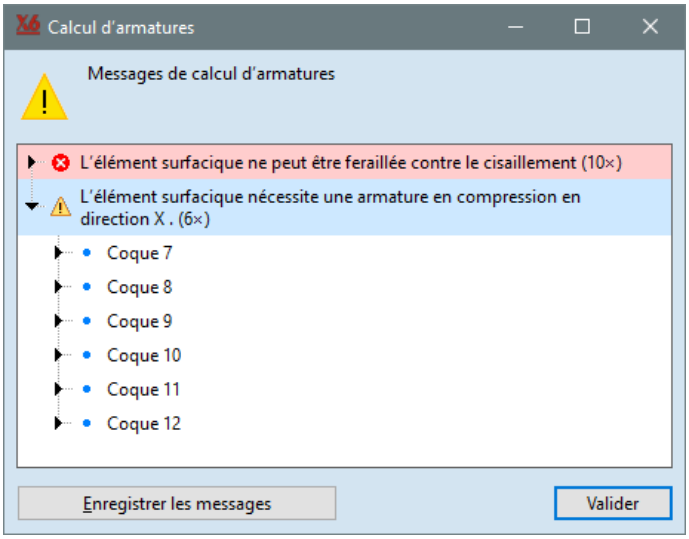
Aux points de concentration des contraintes (angles vifs), il faut affiner le maillage. Pour éviter les singularités dues aux effets de concentration, vous pouvez les répartir sur une petite zone autour du point d'effet.

Les contours des arcs peuvent être approximés sous forme de polygones. L'exploitation d'une très faible tolérance dans cette approximation conduit à des polygones dont les côtés sont extrêmement petits. Le maillage très dense créé sur ce contour peut faire en sorte que le projet dépasse la capacité de votre ordinateur.

En général, si vous affinez le maillage, vous obtenez des résultats plus précis.

5.7. Messages d'erreur

Les messages d'erreur et les avertissements multiples sont organisés en un arbre.



Les messages d'erreur correspondant aux erreurs de modélisation sont énumérés ci-dessous:

Matrice de rigidité définie non positive

Le déterminant de la matrice de rigidité est zéro ou négatif en raison d'une erreur de modélisation.

Matrice jacobienne singulière

Le déterminant de la matrice jacobienne de l'élément est zéro, en raison de la géométrie déformée de l'élément.

Déformation excessive des éléments lors de la déformation

L'élément a été excessivement déformé dans l'incrément actuel.

Incrément de rotation trop important

L'incrément de rotation d'un élément est supérieur à $\pi/4$ radian (90°). Vous devez augmenter le nombre d'incréments de charge.

Composante de déplacement de contrôle invalide

Le contrôle des déplacements est appliqué avec un degré de liberté limité

Convergence non réalisée

Le nombre d'itérations est trop faible.

Trop de valeurs propres

Le rang de la matrice de masse est inférieur au nombre de valeurs propres demandées (fréquences ou modes de flambement).

Pas de valeur propre convergente

Aucune valeur propre n'a convergé.

Pas la valeur propre la plus faible (xx)

Il y a xx valeurs propres inférieures à la plus faible celle déterminée

L'élément est trop déformé

La géométrie de l'élément fini est déformée. Afin de maintenir la précision des résultats, vous devez modifier le maillage des éléments finis pour éviter des géométries d'éléments trop déformées.

Déformation excessive des éléments

lors d'une analyse non linéaire, des déformations excessives ont été remarquées sur l'élément dans un incrément (charge ou déplacement). Vous devez augmenter le nombre d'incréments.

Aucune convergence n'a été atteinte dans le nombre maximum d'itérations

Il n'y a pas eu de convergence dans le nombre maximum d'itérations (voir... *Analyse/ non linéaire statique / contrôle de la solution paramètres*). Vous pouvez augmenter le nombre d'itérations. Le projet peut ne pas converger au niveau de la charge respective, et vous devez modifier les paramètres de contrôle de la solution en conséquence.

Divergence dans l'itération actuelle

Une divergence a été détectée dans le processus d'itération. Les incréments sont trop importants ou les critères de convergence sont trop lâches.

Pas de rigidité au niveau du nœud... dans la direction...

Il existe une singularité dans la matrice de rigidité du système correspondant à ce degré de liberté. Vous devez vérifier les paramètres d'appui et de degrés de liberté (DDL) de votre projet.

Autres messages d'erreur (système)

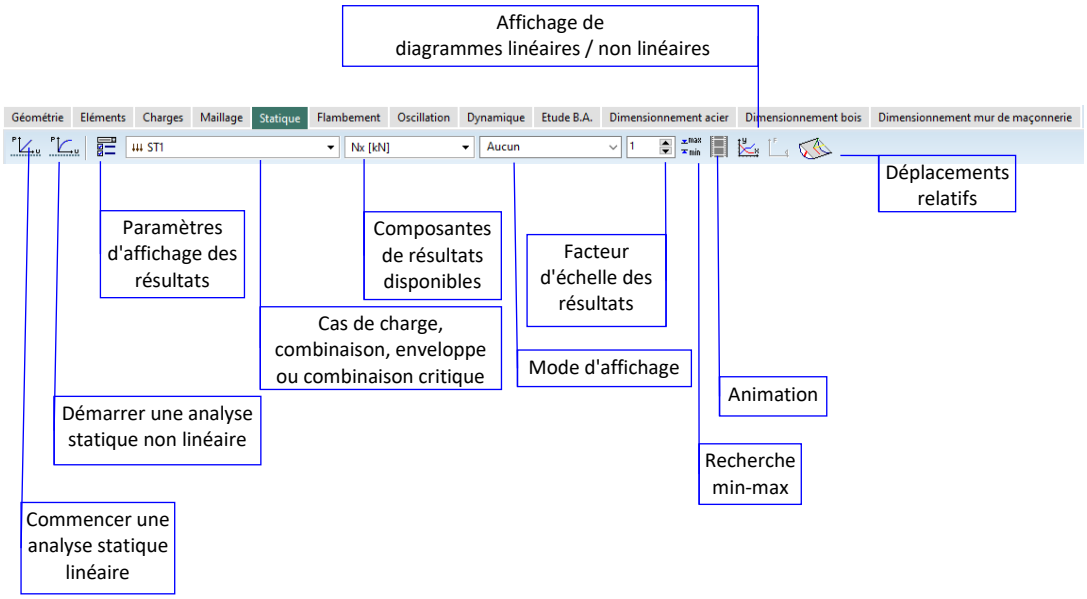
Dans certains cas, d'autres types de messages d'erreur peuvent également apparaître. Sur la base du code d'erreur du système, de plus amples informations sur l'erreur sont fournies sur le lien suivant:
http://docwiki.embarcadero.com/RADStudio/TValideryo/en/Input-Output_Errors

6. Le post-processeur

Statique	Permet d'afficher les résultats d'une analyse statique. (*6.1 Statique*)
Flambement	Permet d'afficher les résultats d'une analyse de flambement. (*6.2 Flambement*)
Vibration	Permet d'afficher les résultats d'une analyse des vibrations. (*6.3 Oscillation*)
Dynamique	Cette commande vous permet d'afficher les résultats d'une analyse dynamique. *(6.4. Dynamique*)
Etude BA	Cette commande vous permet d'afficher les résultats d'une analyse d'étude en béton armé. (*6.5 Etude B.A.)*
Étude acier	Cette commande vous permet d'afficher les résultats d'une analyse d'étude acier. (*6.6 Étude acier*)
Étude bois	Cette commande vous permet d'afficher les résultats d'une analyse d'étude du bois. (*6.7. Étude bois*)
Étude XLAM	Cette commande vous permet d'afficher les résultats d'une analyse d'étude de domaine XLAM. (*6.8 Étude des domaines XLAM - module XLM)*
Étude de la maçonnerie	Cette commande vous permet d'afficher les résultats d'une analyse d'étude de la maçonnerie. (*6.9 Étude de murs en maçonnerie - module MD1)*

6.1. Statique

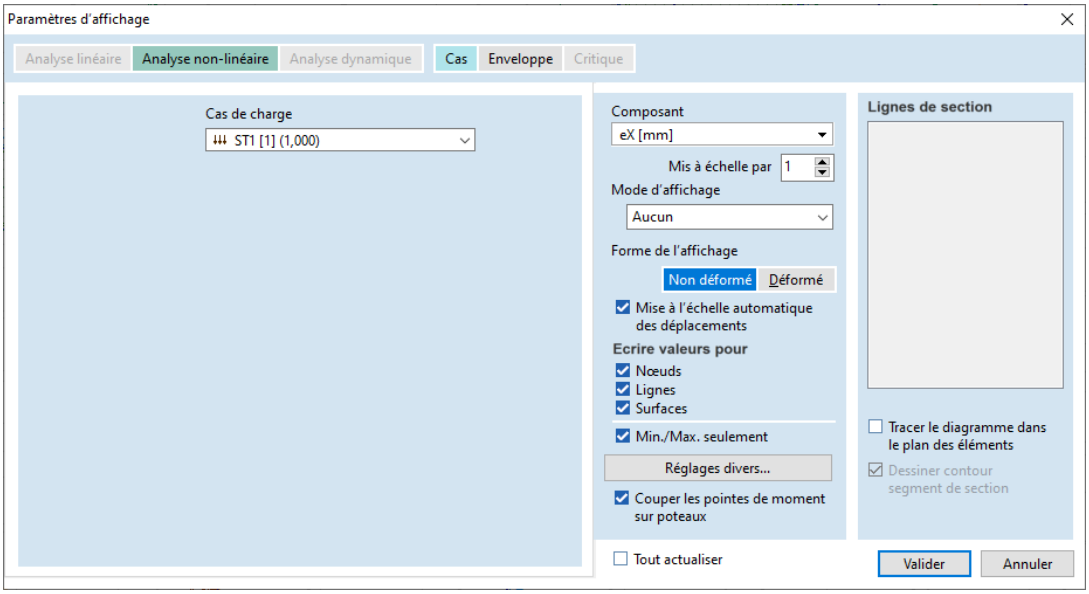
L'élément de menu Statique Cette commande vous permet d'afficher les outils d'affichage et d'interprétation des résultats de l'analyse statique.



La largeur des boîtes combinées et le champ d'édition du facteur d'échelle du résultat peuvent être ajustés séparément sur chaque onglet du post-processeur. Placez la souris entre le contrôle et le contrôle suivant de la barre d'outils. Le curseur se transforme en ⟺ et vous pouvez ajuster la largeur du contrôle. Pour rétablir les tailles par défaut, cliquez sur *Paramètres / Barres d'outils à la position par défaut.* Voir aussi *3.3.15. Barres d'outils à la position par défaut*

Commencer une analyse statique linéaire	Voir... *5.1. Analyse statique*
Démarrer une analyse statique non linéaire	Voir... *5.1. Analyse statique*
Paramètres d'affichage des résultats	Permet de régler les options de l'affichage graphique des résultats. Vous pouvez sélectionner les résultats d'une combinaison de cas de charge ou d'une combinaison de charge critique.

La boîte de dialogue Paramètres d'affichage présente les options suivantes.



Type d'analyse

En fonction de l'analyse effectuée, vous pouvez sélectionner les résultats d'une analyse statique linéaire ou non linéaire. Chaque type d'analyse peut être défini plus précisément :

Cas

Permet d'afficher les résultats de n'importe quel cas de charge/combinaison.

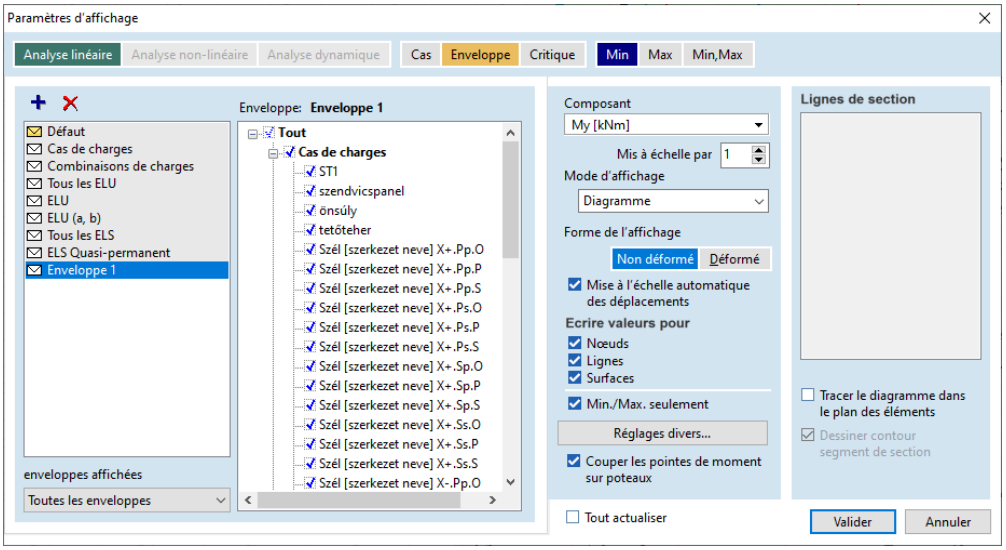
Enveloppe

Cette commande vous permet d'afficher l'enveloppe des résultats des cas de charge et/ou des combinaisons de charges sélectionnés. Le programme recherche les valeurs minimales et/ou maximales à chaque endroit de la composante de résultat sélectionnée.

Critique

Cette commande vous permet de générer les combinaisons de charge critique, selon les définitions des groupes de charge, pour chaque emplacement de la composante de résultat sélectionnée.

Enveloppe



AxisVM permet de définir et d'utiliser différentes enveloppes avec des noms. Sur la gauche se trouve une liste des enveloppes disponibles. Certaines enveloppes de base sont automatiquement créées (enveloppe de tous les cas de charge, de toutes les combinaisons de charge ou de certains types de combinaison (par exemple ELU, ELS Quasi permanent). La composition de l'enveloppe sélectionnée est affichée dans l'arbre des cas de charge et des combinaisons. La modification de la composition d'une enveloppe entraîne la création d'une nouvelle enveloppe personnalisée. La sélection d'une enveloppe personnalisée et le fait de cliquer sur son nom rendent le nom modifiable.

Si la fenêtre principale d'AxisVM est divisée en sous-fenêtres, une enveloppe différente peut être choisie pour chaque sous-fenêtre. Le nom de l'enveloppe sélectionnée est également affiché dans la fenêtre d'état. Les dessins et les tableaux du rapport contiennent et affichent également des informations sur les enveloppes.



Nouvel ensemble d'enveloppes



Supprimer une enveloppe personnalisée (seules les enveloppes personnalisées peuvent être supprimées)

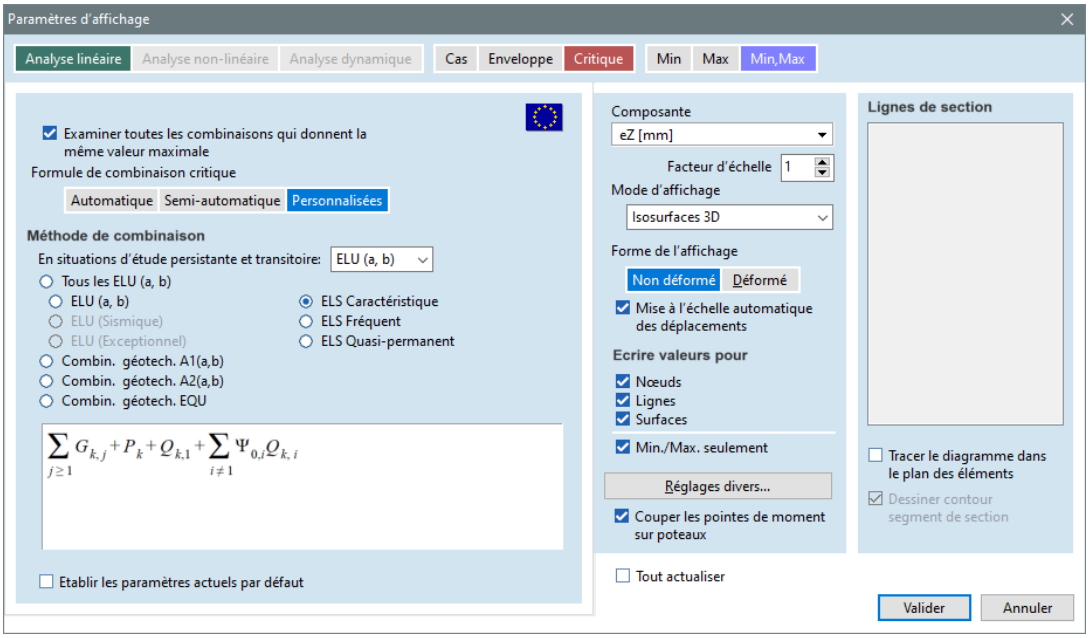
☞ **La sélection multiple est activée dans l'arbre des cas et des combinaisons de charge. Pour cocher ou décocher une plage continue de cas de charge, cliquez sur le premier cas de charge de la plage (il sera sélectionné) puis sur [Maj]+clic sur le dernier cas de charge de la plage.**

Enveloppes affichées

Sélectionnez les enveloppes affichées dans la liste déroulante sous la liste des enveloppes. Vous pouvez ainsi contrôler quelles enveloppes sont disponibles pour l'évaluation des résultats dans la liste déroulante des cas et combinaisons de chargement.

Enveloppe sélectionnée seule	Une seule enveloppe sera disponible, celle qui est actuellement sélectionnée.
Enveloppes personnalisées seules	Toutes les enveloppes personnalisées seront répertoriées
Toutes les enveloppes	Toutes les enveloppes (de base et personnalisées) seront répertoriées.

Critique

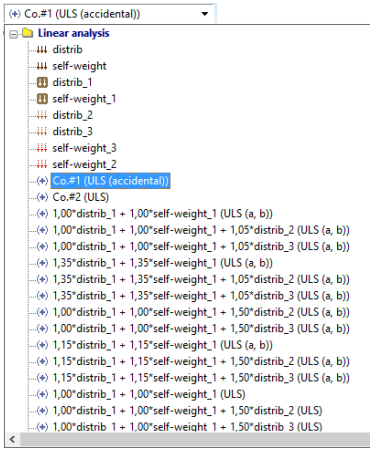


Examiner toutes les combinaisons aboutissant à la même valeur maximale

Par défaut, cette option est désactivée. AxisVM prend en compte les combinaisons résultant d'un extrême pour toute composante du résultat. Cependant, dans certaines méthodes d'étude, une combinaison qui ne produit aucun extrême peut être plus défavorable.
Dans ce cas, activez cette option. Dans les calculs d'étude, AxisVM construira toutes les combinaisons possibles et les vérifiera selon les exigences du code d'étude. Comme le nombre de combinaisons peut être extrêmement élevé, cette option n'est recommandée que si la taille du projet et le nombre de cas de charge sont faibles.

Méthode de combinaison

Si la *formule de combinaison critique* est réglée sur *Auto* AxisVM détermine si une combinaison ELU (état limite ultime) ou ELS (état limite de service) est nécessaire en fonction de la composante du résultat.



Si la *formule de combinaison critique* est définie sur *Min / Max / Min Max personnalisée, les* résultats *de* toutes les méthodes de combinaison seront disponibles dans l'arbre de cas de charge, quelle que soit la composante de résultat actuelle.
Dans le cas de l'Eurocode, de la norme DIN 1045-1, de la norme SIA 262 et d'autres normes basées sur l'Eurocode, la formule pour créer des combinaisons ELS peut être choisie.

Si l'option *Auto* est sélectionnée, tous les calculs d'étude choisiront la formule critique appropriée (par exemple ELS Fréquente pour le calcul de la largeur de fissuration selon la CE-HU, ELS Caractéristique pour les déplacements d'une structure en bois, ELU pour les forces et les contraintes).

En mode Semi-auto AxisVM utilise la combinaison ULS ou SLS selon le type de calcul mais la formule pour créer les combinaisons SLS peut être choisie.

Afficher les valeurs

Si vous avez sélectionné Enveloppe ou Critique, vous pouvez choisir parmi les options suivantes :

Min+Max
: Affiche les valeurs minimales et maximales de la composante actuelle du résultat.

Min
: Affiche les valeurs minimales (dépendantes du signe) de la composante actuelle du résultat.

Max
: Affiche les valeurs maximales (dépendantes du signe) de la composante actuelle du résultat.

Forme de l'affichage

Non déformé
: Affiche la forme non déformée (configuration originale) du projet.

Déformé
: Affiche la forme déformée du projet.

Mise à l'échelle automatique des déplacements
: Met à l'échelle la déformation réelle par un facteur d'échelle automatique de sorte que le déplacement maximal soit représenté par 50 pixels. Cette déformation pré-échelonnée est la base de la mise à l'échelle ultérieure par le *facteur d'échelle du résultat*. Sans cette option, la base de la mise à l'échelle par le facteur d'échelle du *résultat* est la déformation réelle.

Mode d'affichage

Diagramme
: Cette commande vous permet d'afficher la composante actuelle du résultat sous forme de diagramme coloré. Les valeurs numériques sont affichées si l'option *Afficher les annotations de valeur est* activée.

Schéma rempli
: Semblable au *diagramme* mais le remplit de manière personnalisable (voir Symboles graphiques, *3.3.11 Paramètres*

Diagramme+valeurs moyennes
: Ce mode d'affichage n'est disponible que si les forces d'appui de la ligne sont affichées. Si ce mode est sélectionné, les diagrammes des forces d'appui en ligne sont améliorés par l'affichage et l'étiquetage de la valeur moyenne. Le calcul de la moyenne est effectué sur des appuis continus. Les appuis sont considérés comme continus s'ils ont la même rigidité et si leur angle est inférieur à une petite limite.

Ligne de section
: Cette commande vous permet d'afficher la composante actuelle du résultat dans les lignes et/ou plans de la section active sous forme de diagramme. Les valeurs numériques sont affichées si l'option *Afficher les annotations de valeur activée est* activée.

Ligne de section remplie
: Similaire à la *ligne de section* mais la remplit de manière personnalisable (voir les paramètres du *diagramme rempli,* symboles graphiques. *(3.3.11 Paramètres)*

Isoligne (ligne de contour)

Cette commande vous permet d'afficher la composante actuelle du résultat sous forme de tracé de contour en couleur.

Les valeurs qui sont représentées par les isolignes sont spécifiées dans la fenêtre Légende des couleurs. Vous pouvez définir les paramètres de la fenêtre Légende des couleurs comme décrit dans le paragraphe Fenêtres d'information. Les valeurs numériques sont affichées si l'option *Afficher les annotations de valeur activée* est activée.

Isosurface 2D ou 3D

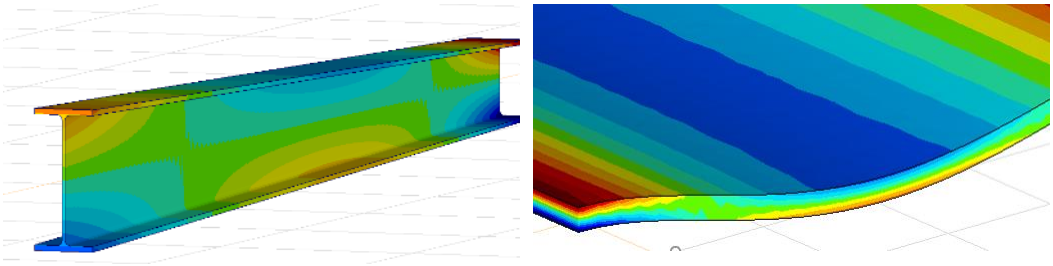
Cette commande vous permet d'afficher la composante actuelle du résultat dans un tracé de contour en couleur rempli.

Les plages qui sont représentées par les iso surfaces sont spécifiées dans la fenêtre Légende des couleurs. Vous pouvez définir les paramètres de la fenêtre Légende des couleurs comme décrit dans le paragraphe Fenêtres d'information. Les valeurs numériques sont affichées si l'option *Afficher les annotations de valeur activée* est activée. Voir... *2.19.4. Fenêtre de légende des couleurs*

Modèle Solide

Ce mode affiche les résultats sur une vue rendue du modèle. Il est particulièrement adapté pour afficher la distribution de la contrainte normale dans les sections transversales des poutres ou pour afficher simultanément les valeurs supérieures et inférieures des contraintes de surface, du renforcement ou de la largeur des fissures.

Pour les paramètres du mode d'affichage, voir... *3.3.11.10 Affichage*



Aucune

La composante actuelle du résultat n'est pas affichée.

Lignes de section

Permet de définir les lignes, plans et segments de section actifs. Si le mode d'affichage est réglé sur Lignes de section, les diagrammes de résultats ne seront dessinés que sur les lignes de section actives (cochées). Le symbole des plans de coupe peut être affiché en activant la case à cocher *Dessiner le contour du plan de coupe*. L'activation de l'option Dessiner le *diagramme dans le plan des éléments* modifie l'apparence de tous les diagrammes de section. Pour modifier ce paramètre individuellement, utilisez la boîte de dialogue Lignes de section.

Voir... *2.16.15 Lignes et plans de section*

Composante

Permet de sélectionner la composante du résultat à afficher.

Échelle par

Cette commande vous permet de régler l'échelle d'un dessin de diagramme. La valeur par défaut est 1, lorsque l'ordonnée maximale est représentée par 50 pixels.

Ecrire les valeurs à ...

Nœuds

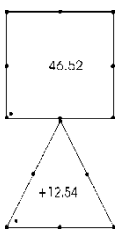
Écrit les valeurs de la composante de résultat actuelle aux nœuds.

Lignes

Écrit les valeurs (valeurs intermédiaires le cas échéant) de la composante de résultat actuelle dans les éléments linéaires.

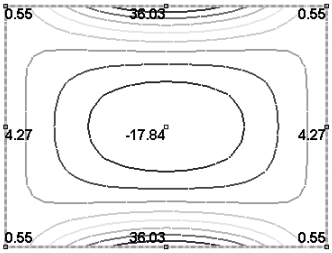
Toutes les surfaces

Écrit les valeurs de la composante de résultat actuelle sur les éléments surfacique. La valeur absolue maximale des neuf valeurs calculées aux nœuds de chaque surface est affichée, et le nœud respectif est marqué par un petit cercle noir.

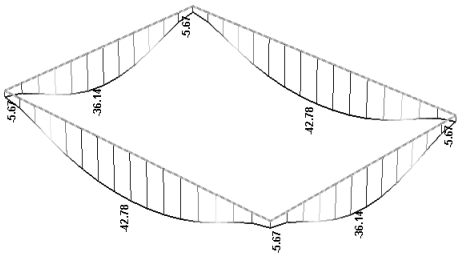


Min/max uniquement

Ecrit les valeurs min/max locales uniquement de la composante actuelle du résultat aux nœuds, lignes et surfaces.



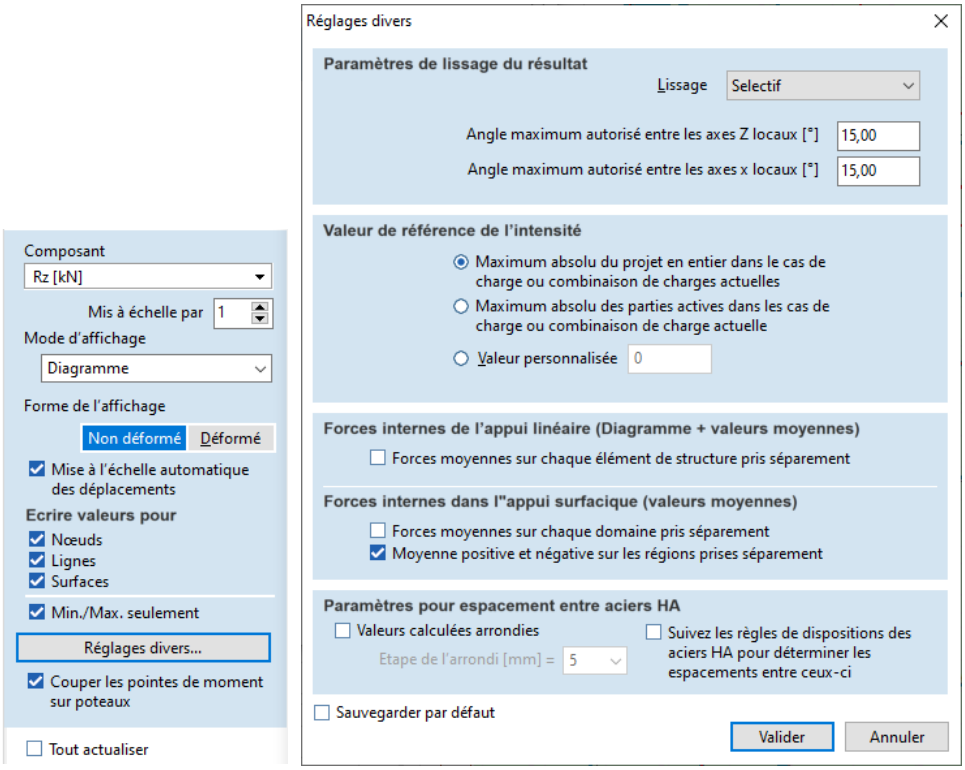
my composante momentanée



Composante de la force d'appui Rz

☞ **Si les annotations se chevauchent, le dessin peut être rendu plus clair (plus lisible) en cochant la case Empêcher les annotations de se chevaucher** (*2.16.18 Options d'affichage*)

Après avoir cliqué sur le bouton *Paramètres divers...*, les options suivantes sont disponibles:



Paramètres de lissage des résultats

Aucun

Le logiciel ne lisse pas les valeurs des forces internes des éléments surfacique calculées aux nœuds (les résultats relatifs aux nœuds de jonction ou aux bords des éléments finis de connexion peuvent différer).

Sélectif

Les valeurs des composantes des forces internes des éléments surfacique calculées aux nœuds sont moyennées en fonction des systèmes de coordonnées locaux, des conditions d'appui et des charges des éléments qui sont attachés à un nœud.

Le logiciel reconnait les cas typiques, lorsqu'un saut est attendu dans les forces internes en raison des charges et des conditions d'appui (par exemple, le saut dans les forces de cisaillement internes à l'appui de la ligne interne). À ces nœuds, le logiciel ne procède pas au lissage.

Si les systèmes de coordonnées locales des domaines de connexion sont différents, le lissage est effectué aux nœuds des bords de connexion uniquement si l'angle entre les axes locaux x ou z n'est pas supérieur aux valeurs spécifiées dans les paramètres.

Toutes les surfaces

Les valeurs de toutes les composantes des forces internes des éléments surfacique calculées aux nœuds sont moyennées sans tenir compte des propriétés des éléments, des charges et des conditions d'appui.

Valeur de référence de l'intensité

La variation d'intensité de la composante de force interne de la surface actuelle affiche la variation en pourcentage de la valeur de référence définie ici.

Voir... *6.1.12. Forces internes des éléments surfacique*

Forces internes d'appui de la ligne

Voir... *6.1.13. Forces internes des appuis*

Les forces internes d'appui surfacique

Voir... *6.1.13. Forces internes des appuis*

Paramètres d' espacement des aciers HA

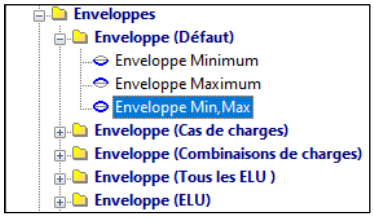
Cochez Arrondir les *valeurs calculées* et l'étape de l'arrondi pour rendre les valeurs calculées plus réalistes. Suivre les règles de disposition des aciers HA pour l'espacement est facultatif.

Couper les pics de moments sur les poteaux

Si le maillage d'un domaine a été créé avec l'option *Ajuster le maillage aux têtes de poteau, il est* possible de faire la moyenne des pics de moment et de les couper au-dessus des têtes de poteau en activant cette option.

Voir... *6.1.12. Forces internes des éléments surfacique*

Sélecteur de cas à afficher

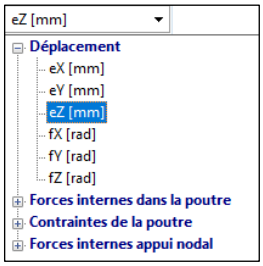


Vous pouvez sélectionner un cas dans la liste déroulante à afficher :

Cas de charge, combinaison de charges
Le k-ième incrément d'une analyse non linéaire
Affichage des enveloppes
Combinaison critique

Composantes de résultats disponibles

Vous pouvez sélectionner un élément de résultat dans la liste déroulante pour l'afficher:



La *composante MyD n'est calculée que dans certains cas, voir* section *6.1.10 Forces internes d'une nervure*

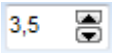
Mode d'affichage

Vous pouvez sélectionner un mode d'affichage dans la liste déroulante:

Diagramme
Schéma rempli
Lignes de section
Ligne de section remplie
Isolignes
Isosurfaces 2D
Isosurfaces 3D
Aucune

☞ **Si l'enveloppe Min,Max ou la combinaison de charge critique est sélectionnée, l'Isoligne et l'Isosurface 2D ne peuvent pas être sélectionnés.**

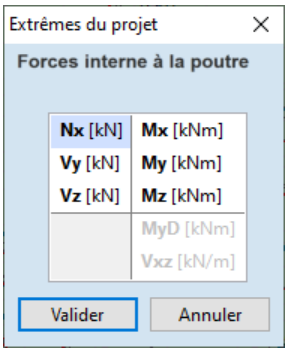
Facteur d'échelle d'affichage



Permet de mettre à l'échelle l'affichage des diagrammes.

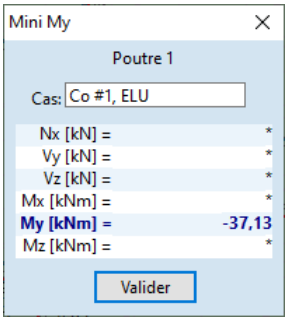
6.1.1. Valeurs minimales et maximales

Cette commande vous permet de rechercher la valeur minimale et maximale de la composante de résultat actuelle. Si vous travaillez sur des parties, la recherche sera limitée aux parties actives.
AxisVM marquera toutes les occurrences de la valeur minimale / maximale.

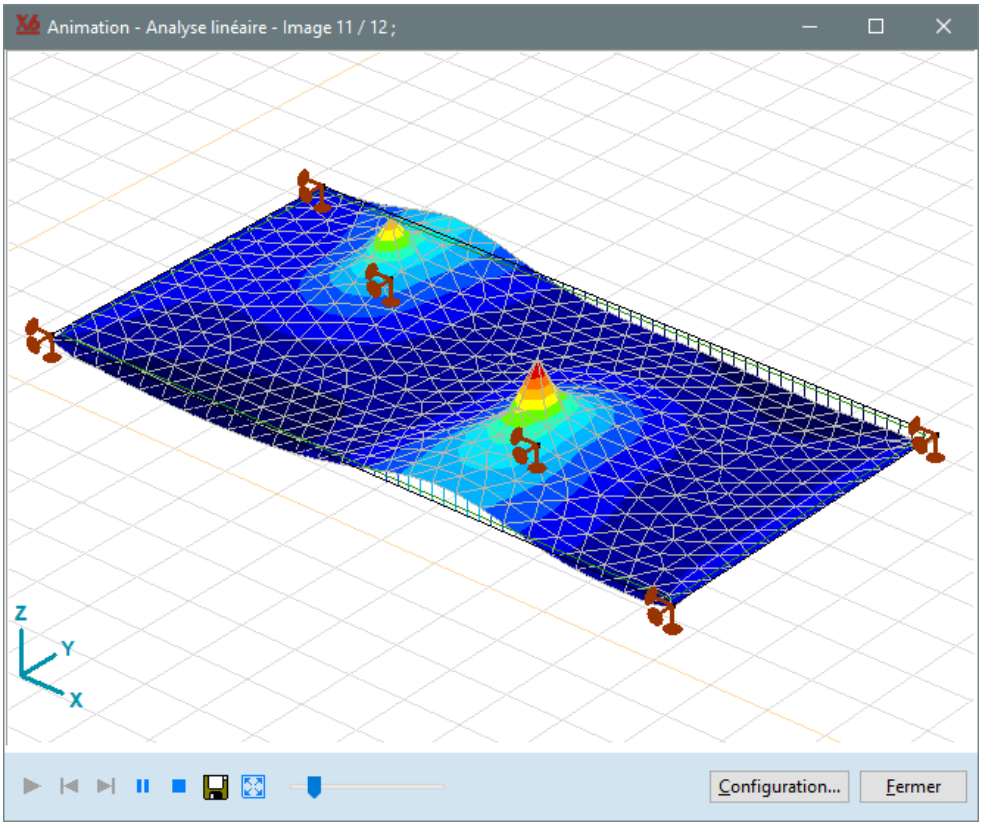


☞ **Si des parties sont affichées, les valeurs extrêmes sont déterminées à partir des parties affichées uniquement.**

Si cette fonction est utilisée lors de l'affichage des combinaisons critiques, la combinaison critique réelle à l'origine de l'extrême peut être ajoutée à une liste cumulative dans le presse-papiers (aucun doublon n'apparaîtra).
Les combinaisons de cette liste peuvent être ajoutées au tableau de combinaison des charges.
Voir... *4.10.2. Combinaisons de charges*.



6.1.2. Animation



Permet d'afficher les déplacements, les forces internes et les formes de mode sous forme animée (image par image). L'animation des résultats linéaires consiste en une séquence d'images qui sont générées par interpolation linéaire entre les valeurs initiales (image 0) et les valeurs réelles de la composante actuelle du résultat (image *n), en fonction du* nombre d'images (*n*). L'animation de résultats non linéaires ou dynamiques génère des images à partir des résultats d'incréments individuels. Après avoir choisi *Déformé* comme *forme d'affichage* dans les *options d'affichage des résultats,* l'animation permet de voir la déformation.

Le processus de génération peut être annulé en appuyant sur la touche **[Echap].**



Boutons de commande



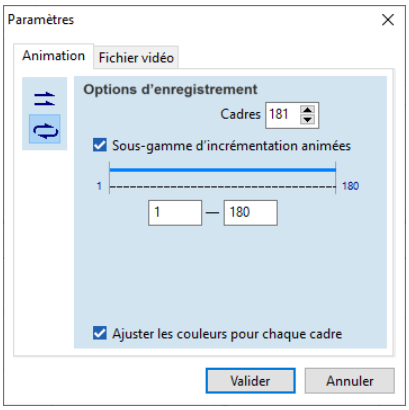
Enregistrer sous forme de fichier vidéo (AVI / GIF)



S'adapter à la fenêtre

Appuyez sur le bouton gauche de la souris pour faire glisser le dessin à animer. Faites tourner la molette de la souris pour faire un zoom avant/arrière.

Animation





lecture unidirectionnel
lit les images en commençant par l'image zéro et en terminant par l'image *n*.



lecture bidirectionnel
lit les images en commençant par l'image zéro et en terminant par l'image *n,* puis l'inverse.

Images

Cette commande vous permet de définir le nombre d'images d'animation. Vous devez spécifier une valeur entre 3 et 99. Plus d'images produisent une animation plus fluide mais plus lente.

Gamme d'incrémentation des animations

En cas de résultats non linéaires ou dynamiques, l'animation peut être limitée à une sous-gamme d'incréments.

Ajuster la couleur pour chaque image

Si les images sont réalisées à partir d'un affichage iso-ligne/surface et que cette option est sélectionnée, la gamme de couleurs est recalculée pour chaque image.

Légende des couleurs

Le réglage correct des couleurs peut nécessiter le calcul du minimum/maximum global de la composante du résultat affiché, ce qui peut être un processus long pour une analyse dynamique avec un nombre énorme d'incréments. Le choix de la première option permet d'estimer le minimum et le maximum à partir des incréments utilisés pour la génération des images.



Fichier vidéo (.avi, *.gif)*

Vous pouvez créer un fichier vidéo, *nom.avi* ou *nom.gif*. Ce dernier est un fichier GIF animé. La plupart des navigateurs web prennent en charge l'affichage de tels fichiers.
Cliquez sur le bouton Enregistrer pour sauvegarder les paramètres du fichier vidéo.

Vous pouvez définir la durée d'affichage d'une image. Une durée plus courte entraînera un plus grand nombre d'images. Un nombre de 30 images/seconde est habituel, c'est pourquoi vous ne devez normalement pas entrer moins de 30 ms pour la durée d'une image.

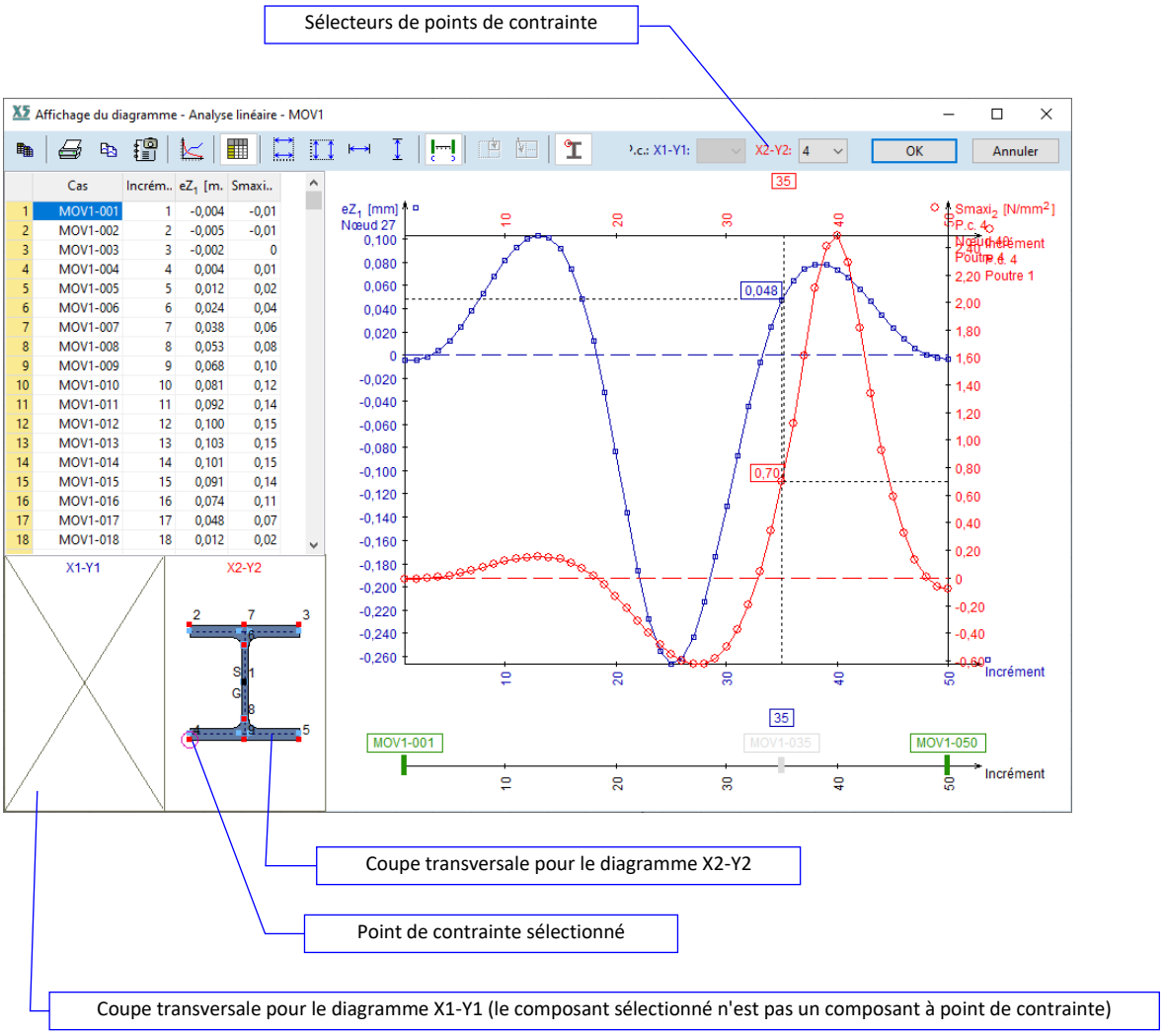
6.1.3. Affichage du diagramme



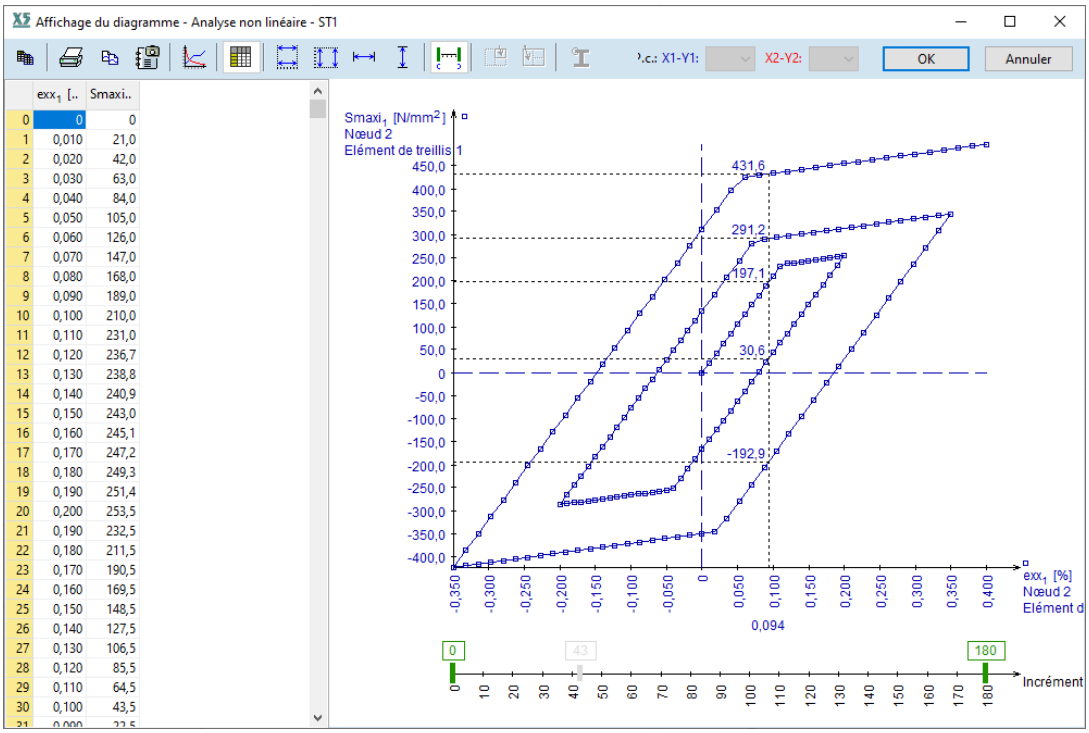
Ce dialogue affiche des résultats linéaires, non linéaires ou dynamiques sous forme de diagrammes. Deux diagrammes peuvent être affichés simultanément. Chaque diagramme a une composante de résultat sur ses axes X et Y. Les points représentant des paires de valeurs consécutives sont reliés. Les coordonnées de lecture peuvent être modifiées en faisant glisser les lignes pointillées ou la marque noire de la barre de progression inférieure. Les points du diagramme peuvent être affichés sous forme de tableau et exportés vers Excel via le presse-papiers.

En cas d'analyse linéaire, tous les cas de charge, toutes les combinaisons de charges, toutes les étapes d'une charge mobile ou tous les éléments d'une enveloppe sont affichés selon le cas choisi dans la fenêtre principale.

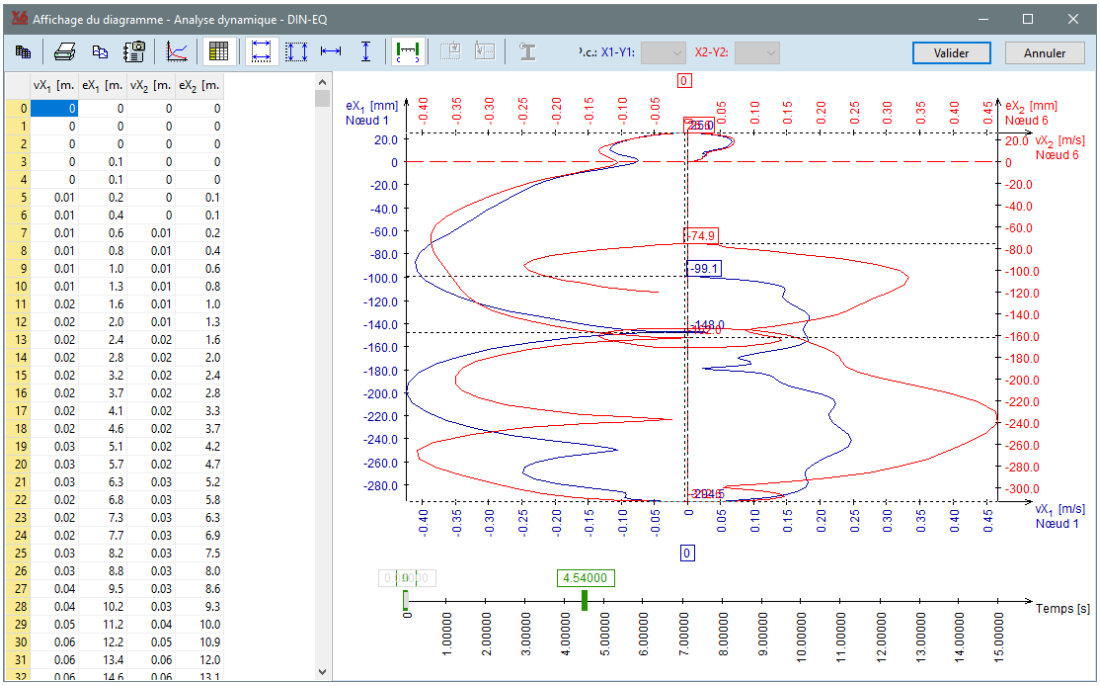
Si une composante de résultat relative aux points de contrainte est sélectionnée, la section est affichée et un point de contrainte spécifique ou la valeur min/max de la section peut être sélectionnée.



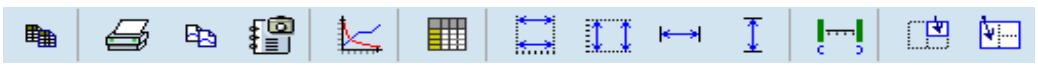
En cas d'analyse non linéaire, tous les incréments d'une analyse ou tous les membres d'une enveloppe peuvent être affichés.



En cas d'analyse dynamique, la barre de progression inférieure affiche le temps au lieu des numéros d'incrément.



Barre d'outils





Copie les cellules sélectionnées dans le presse-papiers
Si le tableau est visible, les cellules sélectionnées sont copiées dans le presse-papiers.



Imprimer le dessin
Imprime le diagramme (et le tableau s'il est affiché)



Copie dans le presse-papiers
Copie le diagramme dans le presse-papiers.

Ajouter un dessin à la bibliothèque de dessins
Sauvegarde le dessin dans la bibliothèque de dessins pour le rendre disponible pour les rapports.

Paramètres d'affichage des diagrammes
Les éléments à afficher peuvent être sélectionnés dans des boîtes combinées.
Si un élément de résultat est sélectionné, le fait de cliquer sur le bouton *Nœud* permet de sélectionner le nœud où le résultat est lu.
Le diagramme *x1-y1* est en bleu, avec des coches et des annotations sur les axes de gauche et du bas.
Le diagramme *x2-y2* est en rouge, avec des coches et des annotations sur les axes de droite et du haut.
Après avoir activé *monter les marqueurs, les* points de données sont marqués par de petits rectangles.

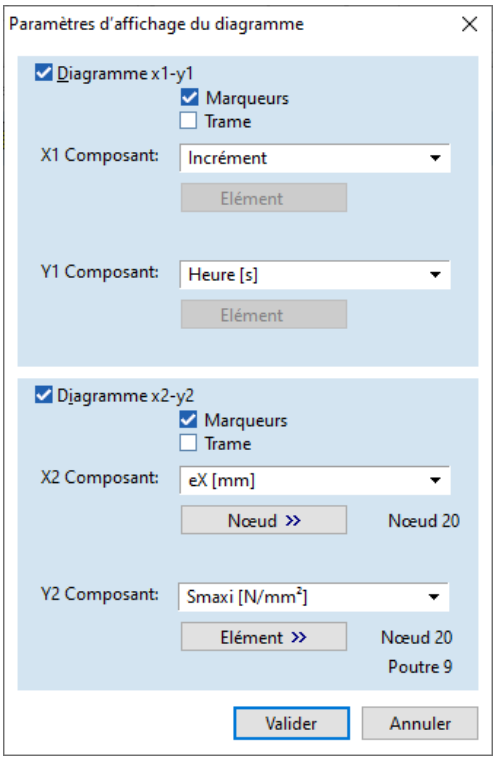


Tableau
Activer/désactiver le tableau affichant les valeurs numériques.

Même portée sur les deux axes X
Si la même composante X est choisie pour les deux axes horizontaux, leurs portées peuvent être fixées à la même valeur.

Même portée sur les deux axes Y
Si la même composante Y est choisie pour les deux axes verticaux, leurs portées peuvent être fixées à la même valeur.

S'adapter à la vue dans la direction X
Définit la plage horizontale entre le minimum et le maximum des valeurs X.

Vue dans la direction Y
Définit la plage verticale entre le minimum et le maximum des valeurs Y.

Contrôles à intervalles
Active/désactive les rectangles de contrôle d'intervalle verts de la barre de titre inférieure. En les faisant glisser, on modifie la plage d'incréments ou le temps affichée.

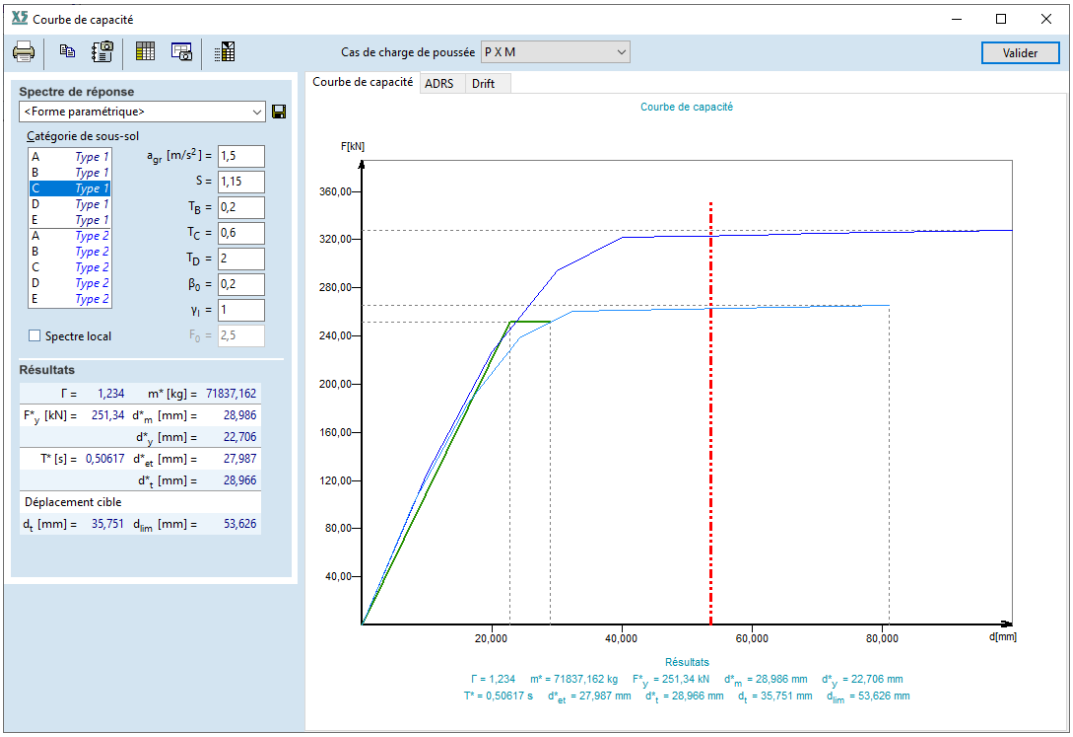
Charge le cas de charge, la combinaison de charges, l'incrément ou le pas de temps choisi dans la fenêtre active.
(disponible uniquement en mode multi-fenêtres)

Charge le cas de charge choisi, la combinaison de charges, l'incrément ou l'incrément du temps vers la fenêtre.

6.1.4. Courbes de capacité de poussée



Ce dialogue n'est actif que si les résultats de l'analyse de poussée sont disponibles et il aide l'utilisateur à déterminer la courbe de capacité et le déplacement de la cible en fonction des caractéristiques du mouvement du sol.
Une liste déroulante en haut de la boîte de dialogue permet à l'utilisateur de sélectionner le cas de charge de poussée à analyser. Les résultats sont basés sur un spectre de réponse accélération-déplacement dont les propriétés sont spécifiées sur le côté gauche de la boîte de dialogue. Celles-ci sont identiques aux propriétés des spectres de réponse utilisés pour les charges sismiques (voir... *4.10.24. Charges sismiques - module SE1*). Les principaux résultats des calculs sont affichés dans la partie inférieure gauche de la boîte de dialogue et sous les diagrammes eux-mêmes.
La boîte de dialogue par défaut affiche une courbe de capacité pour le système à degrés multiples de liberté (MDDL) et le système équivalent à degré unique de liberté (SDDL).
La courbe bleu ciel est la courbe de capacité du système équivalent à un seul degré de liberté (SDDL). Elle a la même forme que la courbe bleue plus profonde pour le système à plusieurs degrés de liberté (MDDL).
Ses points sont le résultat de la division des valeurs de force et de déplacement correspondantes de la courbe MDDL par Γ.
En général, le point final des deux courbes de capacité est le point correspondant au déplacement maximal (divisé par Γ pour la courbe SDDL) fixé par l'utilisateur au début de l'analyse statique non linéaire.
La courbe résultante sur la figure ci-dessous montre que la structure est capable de se déplacer encore plus, puisque la force de cisaillement à la base (axe vertical) augmente au fur et à mesure que les déplacements augmentent. La valeur maximale de la force de cisaillement ne peut être déterminée que si un déplacement de la cible suffisamment important est spécifié lors de l'analyse de poussée non linéaire.



Barre d'outils





Imprimer
le *dessin imprime* le diagramme actuel



Copie dans le presse-papiers
Copie le diagramme actuel dans le presse-papiers.



Ajouter un dessin aus archives
Sauvegarde le diagramme actuel dans les archives pour le rendre disponible pour les rapports.



Tableau
Active/désactive le tableau affichant les valeurs numériques.



Ajouter à la bibliothèque de dessins
Enregistre le diagramme actuel dans la Bibliothèque des dessins pour le rendre disponible pour les rapports.



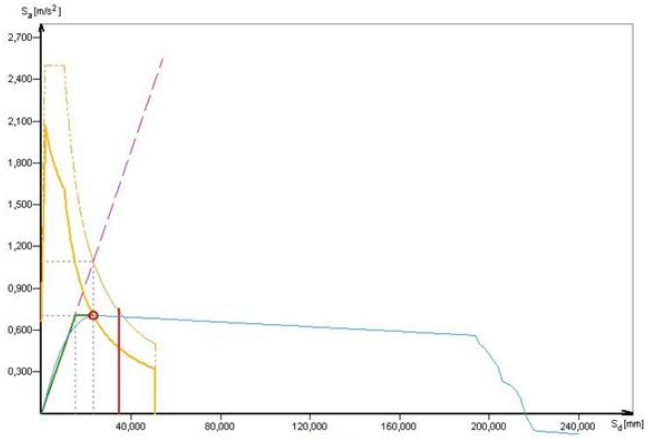
Paramètres sismiques
Affiche un tableau avec les déplacements absolus et relatifs des étages et d'autres paramètres.

6.1.4.1. Courbes de capacité selon l'Eurocode 8

Tous les résultats sont basés sur la méthode N2 (voir... 11.32**)** recommandée dans l'annexe B de l'Eurocode 8. La relation bilinéaire force-déplacement pour le système SDDL (courbe verte) est calculée en prenant la force au déplacement cible (d_t^*) comme la force qui correspond à l'élasticité (F_y^*) et définir le déplacement de rendement (d_y^*) en utilisant le principe de l'énergie de déformation équivalente.
Une ligne rouge verticale marque 150% du déplacement de la cible (d_t) selon l'Eurocode 8 (4.3.3.4.2.3). En général, si la capacité de déformation de la structure est supérieure à ce niveau (le style linéaire est le tiret), elle satisfait aux exigences de capacité de déformation, sinon (le style linéaire est continu), elle ne satisfait pas à ces exigences.

6.1.4.2. Spectre de Réponse d'Accélération-Déplacement (SRAD)

Le spectre de réponse d'accélération-déplacement (SRAD) est affiché en passant à l'onglet SRAD de la boîte de dialogue. Les spectres SRAD élastiques (ligne jaune en pointillé) et inélastiques (ligne jaune), les SDDL (ligne bleue) et les courbes de capacité bilinéaire équivalente (ligne verte) sont tous deux affichés ici.
Une ligne séparée met en évidence la période naturelle correspondant au comportement élastique de la structure. L'intersection de la capacité et de la demande correspondant au déplacement cible est marquée par un cercle rouge. La ligne pointillée violette montre l'approximation élastique basée sur la rigidité initiale de la courbe de capacité bilinéaire.



Résultats Les variables marquées d'un astérisque (*) représentent le comportement du système SDDL, tandis que les autres correspondent au système MDDL.

Γ	Facteur de transformation pour le calcul des caractéristiques du SDDL
*m**	Masse du système SDDL équivalent
*Fy**.	Force de cisaillement de base au déplacement *dm** *du* système SDDL équivalent et force d'élasticité de la relation élasto-parfaitement plastique force-déplacement
*dm**	Déplacement ultime de la relation bilinéaire force-déplacement idéalisée (pas nécessairement le déplacement ultime du système SDDL en raison de la procédure d'itération de la méthode N2)
*dy**.	Déplacement de la relation bilinéaire idéalisée force-déplacement
*T**	Période naturelle du système SDDL équivalent

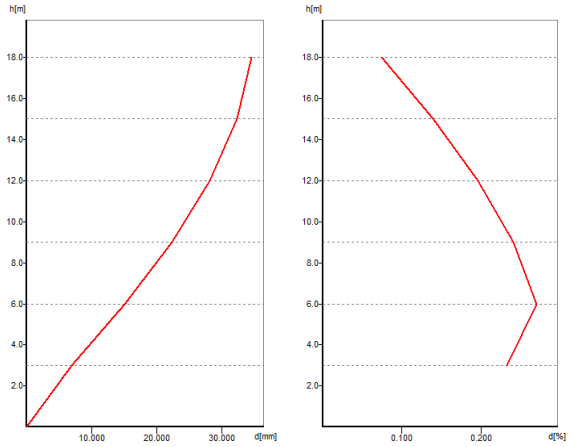
d_{et*} Déplacement de la cible du système SDDL équivalent avec la période *T** et un comportement élastique illimité

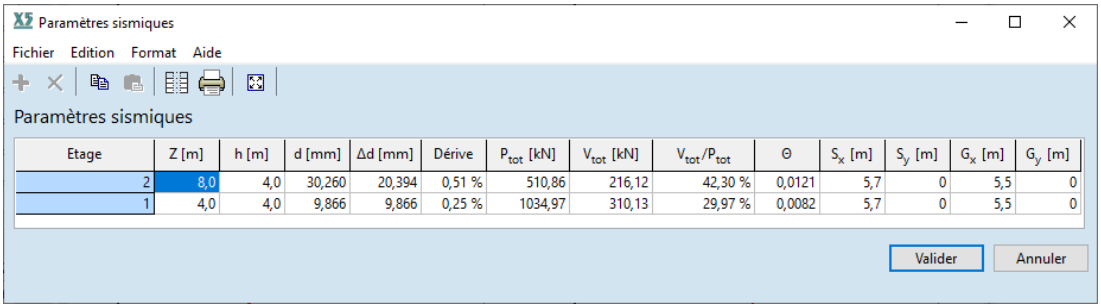
*dt** Déplacement de la cible du système SDDL équivalent en tenant compte du comportement inélastique représente la fin de la courbe de capacité bilinéaire verte.

dt Déplacement de la cible du système MDDL en tenant compte du comportement inélastique

6.1.4.3. Dérive sismique

Dans l'onglet Dérive, les diagrammes des dérives absolues et des rapports de déplacement relatif des étages (dérive inter étages) sont affichés. Le diagramme de la dérive absolue montre le déplacement horizontal du centre de gravité des étages par rapport au sol. Le diagramme du rapport de dérive inter étage montre la dérive inter étage exprimée en pourcentage de la hauteur de l'étage. Ce dernier diagramme permet de vérifier si la structure répond aux exigences de l'Eurocode 8 en matière de limite de dérive. En cliquant sur le bouton "*Paramètres sismiques*" *de* la barre d'outils, les valeurs numériques peuvent être affichées dans un tableau avec les paramètres sismiques des étages.





Etage	Z [m]	h [m]	d [mm]	Δd [mm]	Dérive	P_{tot} [kN]	V_{tot} [kN]	V_{tot}/P_{tot}	Θ	S_x [m]	S_y [m]	G_x [m]	G_y [m]
2	8,0	4,0	30,260	20,394	0,51 %	510,86	216,12	42,30 %	0,0121	5,7	0	5,5	0
1	4,0	4,0	9,866	9,866	0,25 %	1034,97	310,13	29,97 %	0,0082	5,7	0	5,5	0

6.1.5. Tableaux de résultats



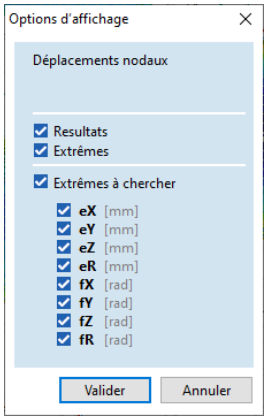
Le navigateur de tableaux Cette commande vous permet d'afficher les valeurs numériques des résultats dans un tableau sous une forme personnalisable. Si vous avez activé des parties, le tableau énumère les valeurs correspondant aux parties actives. Si vous avez sélectionné des éléments, le tableau ne répertoriera que les éléments sélectionnés par défaut. Vous pouvez modifier l'étendue des éléments listés en cliquant sur le bouton du filtre de propriété dans la barre d'outils du navigateur de tableau.

Vous pouvez transférer des données vers d'autres applications via le Presse-papiers. Voir... *2.9 Navigateur de tableau*



Le paramètre *Options d'affichage / Annotations / Utiliser les nombres d'éléments finis* contrôle non seulement l'étiquetage mais aussi la façon dont les tableaux de résultats sont compilés. Par exemple, si cette option est activée, vous trouverez les forces internes des poutres dans le navigateur de tableaux sous *RÉSULTATS / Analyse linéaire / Forces internes / Éléments finis / Forces internes des poutres. Les* résultats sont listés par élément fini.
S'il n'est pas coché, ce chemin est le suivant : *RÉSULTATS / Analyse linéaire / Forces internes / Forces internes des poutres* et les résultats sont listés par élément de structure.

Affichage des résultats
[Ctrl]+[R]



Après avoir appelé le navigateur de tableau, vous pouvez définir si vous avez besoin d'un tableau détaillé et/ou des extrêmes et vous pouvez sélectionner les composantes dont vous avez besoin des extrêmes. Cette boîte de dialogue peut être appelée plus tard à partir des *options d'affichage du format/résultat*.

Résultats En décochant cette option, les résultats détaillés sont supprimés, les extrêmes restant le seul contenu du tableau.

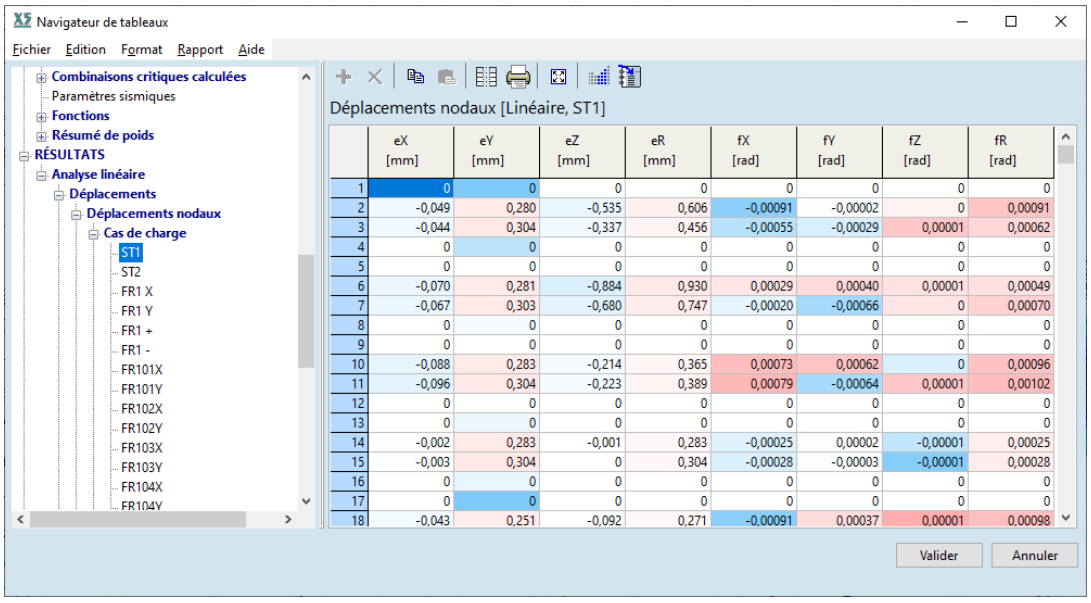
Les extrêmes En décochant cette option, le résumé des extrêmes est supprimé de la fin du tableau.

Les extrêmes à trouver

L'ensemble initial des extrêmes à trouver est déterminé par la visibilité de la colonne par défaut du tableau des résultats. L'utilisateur peut définir quelles colonnes (composantes de résultats) doivent être visibles par défaut dans le tableau de résultats. Seules les composantes de résultats visibles seront vérifiées automatiquement.
Vous pouvez définir les composantes pour lesquelles vous souhaitez trouver les *valeurs extrêmes (maximum et minimum)*. Parmi les valeurs minimales et maximales, les valeurs concomitantes des différentes composantes du résultat sont affichées si les valeurs minimales/maximales se trouvent à un seul endroit ou non. S'il y a plusieurs endroits, le symbole ***** apparaîtra, et dans la colonne Loc (emplacement), la première occurrence de la valeur extrême sera affichée.

Lorsque vous affichez les *résultats des combinaisons critiques en plus des* valeurs minimales et maximales, les cas de charge qui conduisent aux valeurs critiques sont inclus avec les notations suivantes:

[...] Représente les résultats d'un cas de charge permanente.
{ ... } Représente les résultats d'un cas de charge accidentel.
(...) Représente les résultats d'un cas de charge exceptionnel.



	eX [mm]	eY [mm]	eZ [mm]	eR [mm]	fX [rad]	fY [rad]	fZ [rad]	fR [rad]
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	-0,049	0,280	-0,535	0,606	-0,00091	-0,00002	0	0,00091
3	-0,044	0,304	-0,337	0,456	-0,00055	-0,00029	0,00001	0,00062
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	-0,070	0,281	-0,884	0,930	0,00029	0,00040	0,00001	0,00049
7	-0,067	0,303	-0,680	0,747	-0,00020	-0,00066	0	0,00070
8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0
10	-0,088	0,283	-0,214	0,365	0,00073	0,00062	0	0,00096
11	-0,096	0,304	-0,223	0,389	0,00079	-0,00064	0,00001	0,00102
12	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0
14	-0,002	0,283	-0,001	0,283	-0,00025	0,00002	-0,00001	0,00025
15	-0,003	0,304	0	0,304	-0,00028	-0,00003	-0,00001	0,00028
16	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0
18	-0,043	0,251	-0,092	0,271	-0,00091	0,00037	0,00001	0,00098

Filtrage des propriétés 

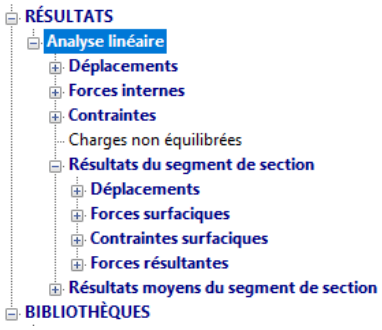
Voir en détail... *2.9 Navigateur de tableau*

Imprimer
[Ctrl]+[P]

En cliquant sur le bouton de l'outil d'impression ou en choisissant l'élément de menu *Fichier / Imprimer*, la boîte de dialogue d'impression apparaît.
Voir... *3.1.12. Imprimer*.

6.1.5.1. Tableaux des résultats des segments de section transversale

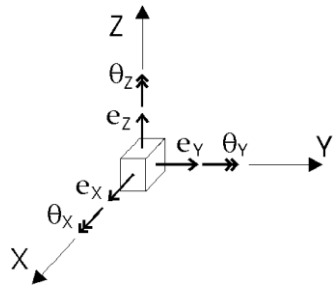
Si des segments de section sont définis dans le projet, les tableaux de résultats des segments de section apparaissent sous le nœud RESULTAT
Ces tableaux listent les valeurs des composantes du résultat le long du segment de section actif (affiché). Des points de résultats internes au segment seront créés à l'endroit où le plan du segment a coupé les bords des éléments finis.



6.1.6. Déplacements

Nœuds

À chaque nœud, six composantes de déplacement nodal (trois translations et trois rotations) sont obtenues dans le système de coordonnées global.
Les valeurs résultantes des translations *(eR)* et des rotations *(fR)* sont également déterminées.



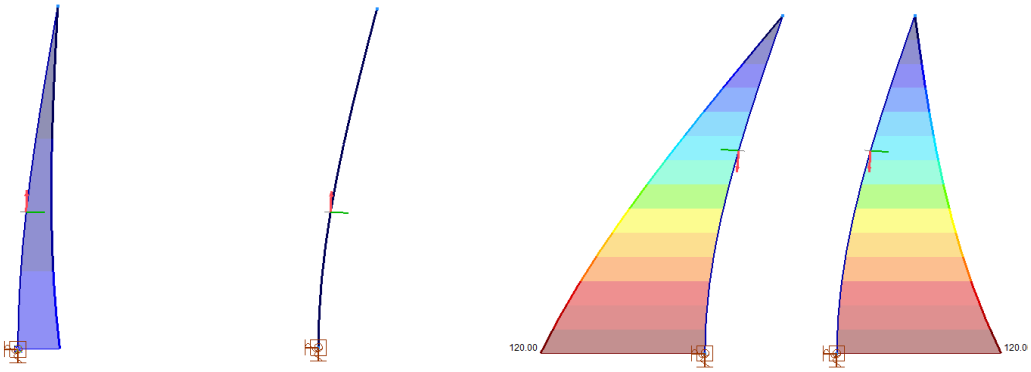
☞ **Dans certains cas, les déplacements et les forces internes associés à la même combinaison de charge critique ou d'enveloppe semblent être incohérents.**

Ce phénomène s'explique par deux raisons :

- Les composantes de déplacement et les forces internes sont calculées à partir de différentes compilations de charges (par exemple, ELS ou ELU), de sorte que les résultats ne peuvent pas être interprétés ensemble.
- Les composantes de déplacement sont obtenues dans le système de coordonnées global, mais les forces internes sont présentées en considérant le système de coordonnées local des éléments (poutre, surface, poutre virtuelle, ...). Les résultats ne peuvent être interprétés que dans le système de coordonnées approprié.

Des cas simples sont présentés ci-dessous pour illustrer ces phénomènes. Dans les figures, les forces internes de l'élément de la poutre sont représentées sous forme déformée.

1. 2. 3.



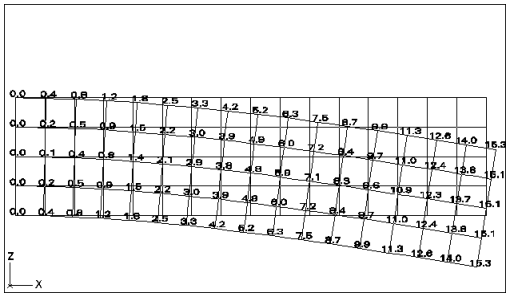
1. Dans les combinaisons de charges critiques ou enveloppantes, le côté tension de la poutre semble être contradictoire en fonction des résultats du déplacement et des forces internes. Les composants proviennent de différentes compilations de charges (ELS et ELU), de sorte que les résultats ne sont pas cohérents.
2. Ce cas particulier montre également l'effet de différentes combinaisons de charges. La force interne est nulle, mais la forme déformée présente une déformation (importante).

3. Le dernier cas illustre les conséquences des différents systèmes de coordonnées locales dans la combinaison des charges d'enveloppe. La charge appliquée et le déplacement calculé sont les mêmes. La force interne est également identique, mais le diagramme de la force interne est du côté opposé en raison des différents axes *z* locaux. Cela peut sembler contradictoire par rapport à la forme déformée dans l'interprétation du côté tension ou compression).

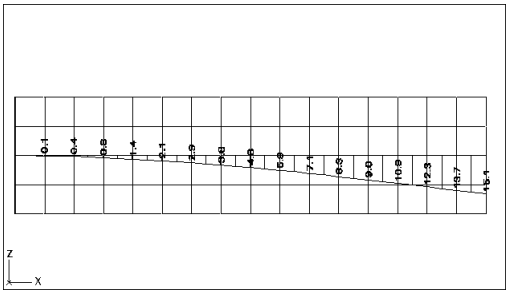
☞ **Cela peut également se produire dans des combinaisons sismiques.**

Affichage des déplacements d'un porte à faux (projet de membrane):

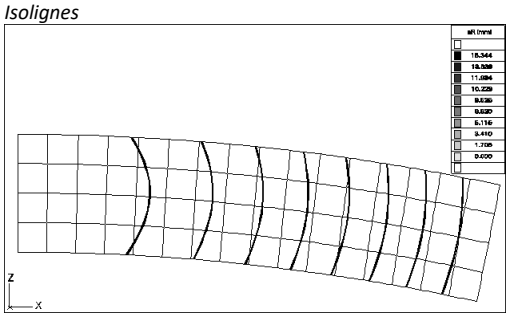
Diagramme avec valeurs nodales



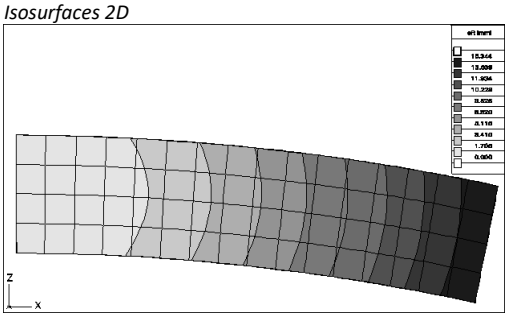
Ligne de coupe avec valeurs nodales



Isolignes



Isosurfaces 2D



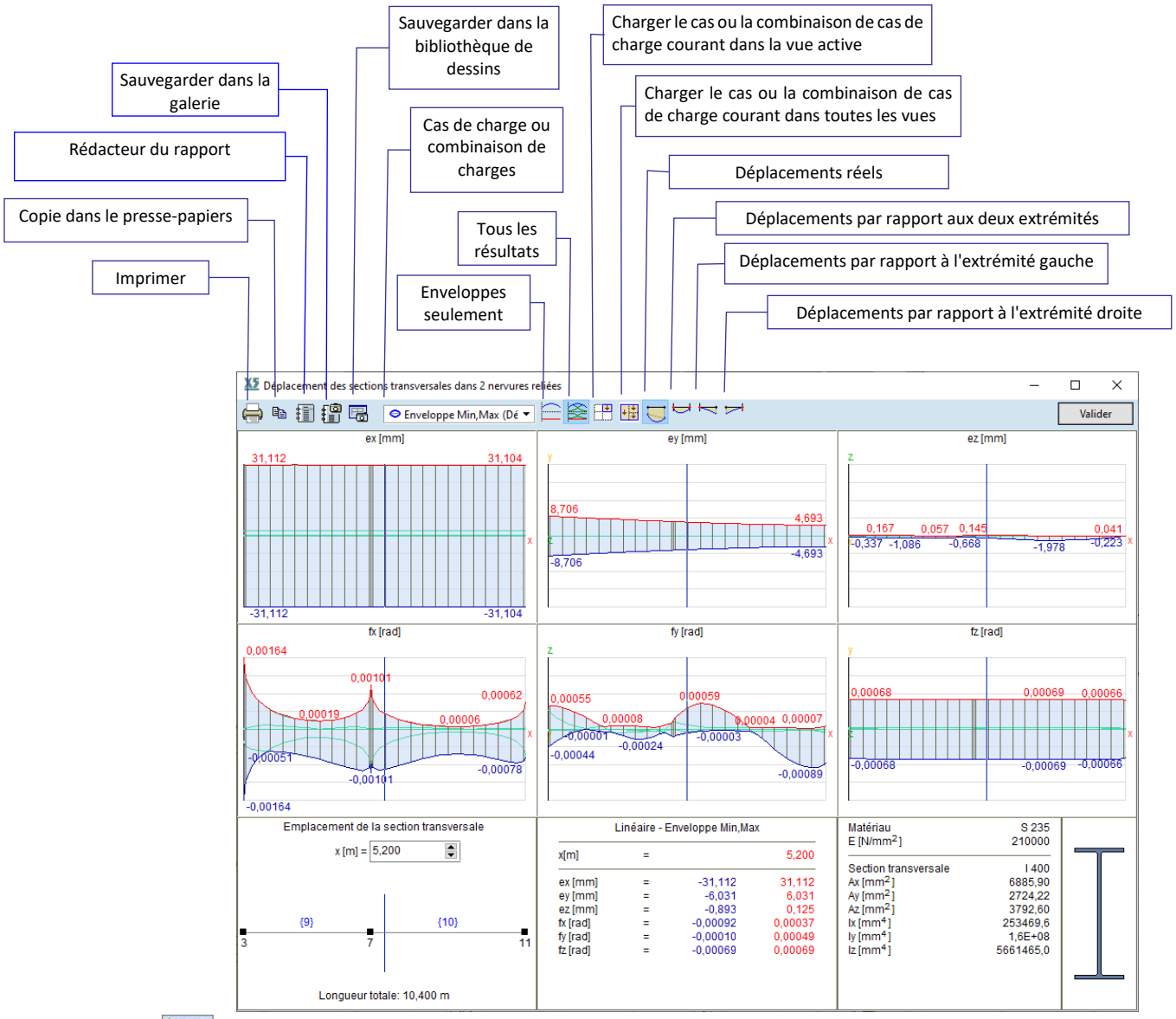
Poutres

Pour chaque élément de la poutre, les déplacements intermédiaires sont obtenus dans les systèmes de coordonnées local et global. Lors de l'affichage des déplacements de la structure, les déplacements des poutres sont liés au système de coordonnées **global.** Si vous placez le curseur sur un élément de poutre, les six composantes de déplacement de la poutre liées au système de coordonnées **local** de l'élément sont affichées sous forme de diagramme.

Si le projet contient une poutre à 7 DDL (*4.9.9.3 Poutre aux 7 DDL - Module 7 DDL*), un diagramme supplémentaire apparaît pour la rotation spécifique w = dfx/dx interprétée dans le système local de l'élément.

Vous pouvez afficher les déplacements de plus d'un élément de poutre si:

a) Le système de coordonnées locales des éléments est presque ou entièrement identique.
Voir... *2.16.19.3 Dessin*)/*Angle de la ligne de contour*
b) L'orientation x locale est la même.
c) Les éléments sont de la même matière



Affichage de l'enveloppe seule

Affichage de toutes les données établies

Charger le cas de charge actuel ou combinaison de charge dans la fenêtre active (en cas de mode multifenêtres, le cas de charge ou la combinaison ne sera chargé que dans la vue active)

Charger le cas de charge actuel ou la combinaison de charge dans toutes les vues (en cas de mode multifenêtres, le cas de charge ou la combinaison de cas de charge sera chargé dans toutes les vues)

Déplacements actuels

Déformations relatives aux points finaux déplacés

Déformations relatives aux point final de gauche déplacé

Déformations relatives aux point final de droite déplacé

Vous pouvez afficher les diagrammes correspondant à n'importe quel cas de charge ou combinaison, ainsi que les enveloppes. Vous pouvez activer et désactiver l'affichage des fonctions des enveloppes et définir la position le long du membre où vous voulez que les résultats soient affichés.

Sauvegarder dans la bibliothèque de dessins

Les diagrammes associatifs peuvent être sauvegardés dans la Bibliothèque des dessins. Les dessins de cette bibliothèque peuvent être insérés dans des rapports. Après avoir modifié et recalculé les projets de diagrammes dans la bibliothèque, les rapports changent en conséquence.

Tableaux de résultats Voir... *6.1.5. Tableaux de résultats*

6.1.6.1. Calcul non linéaire de la déflexion totale (wtot) pour les plaques B.A.

☞ ***La fonction suivante n'est disponible que dans les normes Eurocode-NL et Eurocode-B et ne peut être utilisée que pour les plaques.***

EN 1990:2002 A1.4.3, NEN-EN 1990 A1.4.3

Pour déterminer la déflexion totale d'une plaque B.A., différents types de déflexions verticales doivent être calculés en effectuant une série d'analyses non linéaires pour certaines combinaisons *avec* et *sans* élasticité.

☞ ***L'exploitation des armatures dans le calcul* doit toujours être vérifié.**

Le calcul de la déviation totale nécessite les valeurs suivantes

w1 *Première partie de la déflexion sous charges permanentes*
Effectuer une analyse non linéaire pour 1) les cas de charge permanente ou 2) les combinaisons caractéristiques, fréquentes ou quasi-permanentes de ELS sans charge variable) *sans* élasticité (φ = 0)

w2 *Partie à long terme de la déflexion sous charges permanentes*
Les mêmes combinaisons ELS quasi-permanentes doivent être calculées à la fois *avec* et *sans* élasticité car *w2* est obtenu comme la différence entre les deux résultats.
La partie permanente des combinaisons ELS doit comprendre les mêmes cas de charge permanente que la combinaison utilisée pour déterminer *w1*.

w3 *Partie supplémentaire de la déviation due aux actions variables des combinaisons concernées*
Doit être calculé à partir des mêmes combinaisons ELS que celles utilisées pour déterminer *w1* mais en incluant les cas de charge variable ainsi que *sans* élasticité. *w3* est obtenu comme la différence entre les deux résultats.

wbij *wbij =w2+w3*

wtot *Déviation totale*
wtot = w1+w2+w3

Étapes du calcul

1. Générez toutes les combinaisons ELS que vous voulez prendre en compte. Les combinaisons ELS quasi-permanentes doivent toujours être incluses. Voir... *4.10.2. Combinaisons de charges*

2. Effectuer une analyse non linéaire pour toutes les combinaisons *sans* élasticité. Les combinaisons ELS quasi-permanentes doivent également être calculées *avec L'élasticité*.
L'exploitation des armatures dans le calcul doit toujours être vérifié. Voir... *5.1. Analyse statique.*

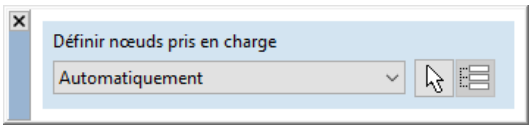
3. Sélectionnez une enveloppe prédéfinie *ELS Quasi permanent* ou une enveloppe personnalisée créée à partir d'un sous-ensemble des combinaisons. Voir... *6.1. Statique.*

4. Si l'enveloppe contient toutes les combinaisons nécessaires, le programme trouve l'ensemble des combinaisons qui comprennent les mêmes cas de charge permanente et détermine *w1, w2, w3, wbij* et la valeur de *wtot* pour chaque ensemble, calcule leur enveloppe et met à disposition les valeurs de l'enveloppe sous forme de composantes de résultat *w1, w2, w3, wbij* et *wtot*.

6.1.6.2. Déplacements relatifs



Si le projet contient des domaines et qu'une analyse linéaire a été effectuée, le bouton *Déplacement relatif de* l'onglet *Statique* est également activé. Cette fonction permet d'afficher le déplacement des domaines par rapport à leurs appuis.
Cliquez dessus pour accéder au dialogue suivant.



Sélection des domaines et des nœuds pris en charge

Trois méthodes sont disponibles pour définir les nœuds pris en charge :

1. *Automatiquement* : les nœuds du ou des domaines sélectionnés ayant un appui nodal, linéaire ou surfacique attaché seront considérés comme pris en charge si l'appui a une rigidité non nulle dans la direction locale *z*. Les nœuds suivants sont également considérés comme pris en charges :
   a. Les nœuds du ou des domaines sélectionnés avec des poteaux attachées si l'angle entre l'axe du poteau et la direction *z* locale est inférieur à 45°,
   b. Les nœuds du ou des domaines sélectionnés avec des murs attachés si l'angle entre leurs directions *z* locales est supérieur à 45°,
2. *Automatiquement (dalles uniquement):* La méthode ci-dessus mais limitée à des dalles sélectionnées (un domaine est considéré comme une dalle si sa direction z locale est parallèle à la direction Z globale).
3. *Sélection :* l'utilisateur peut sélectionner à la fois les domaines et les nœuds pris en charge. Seuls les nœuds situés dans le plan du domaine seront pris en compte.

Note : une région ne peut avoir qu'un seul plan de référence.



Sélectionner les domaines, les nœuds pris en charge : cliquez sur cette icône pour sélectionner les domaines. En mode de *sélection,* les nœuds pris en charge doivent également être sélectionnés.

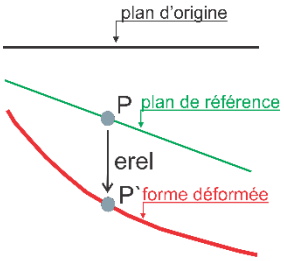
Analyse

Le plan de référence est déterminé à partir de la position déplacée des nœuds pris en charges. La manière dont il est calculé dépend du nombre de nœuds pris en charge.

1. *Aucun nœud pris en charge :* dans ce cas, aucune référence n'est attribuée au domaine et les résultats ne sont pas calculés.
2. *Un nœud pris en charge :* le plan de référence a la même normale que le domaine et passe par la position déplacée du nœud.
3. *Deux nœuds pris en charge :* le plan de référence passe par les deux nœuds déplacés. Un vecteur dans le plan perpendiculaire à la ligne passant par ces nœuds est parallèle au vecteur similaire dans le plan du domaine non déplacé.
4. *Trois nœuds ou plus :* dans ce cas, le plan de référence est ajusté aux nœuds déplacés (il passe par tous les nœuds pris en charge pour trois nœuds).

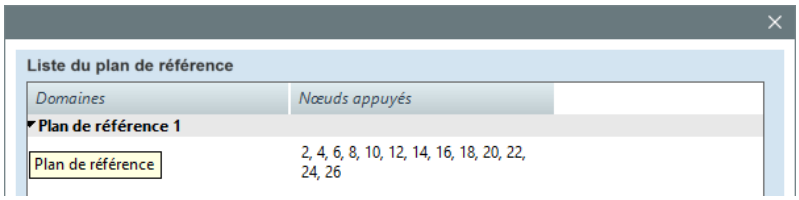
Le déplacement relatif *erel d*'un nœud de domaine est défini comme la distance de P et P' où P est l'intersection du plan de référence et d'une ligne perpendiculaire au plan d'origine du domaine et passant par P'.

En sélectionnant *erel* dans la liste des composants, les résultats du calcul peuvent être affichés pour tout cas de charge, combinaison, enveloppe ou combinaison critique.





Liste des plans de référence : Affiche une liste de plans de référence avec les domaines où *erel a* été calculé à partir du plan de référence donné et une liste des nœuds pris en charge définissant le plan de référence. Le plan de référence sélectionné peut être supprimé en cliquant sur le bouton ***Supprimer*** ou en appuyant sur *Suppr*.



Tableaux de résultats

Voir... *6.1.5. Tableaux de résultats*

Sauvegarder les diagrammes dans la bibliothèque de dessins

Les diagrammes peuvent être enregistrés dans la Bibliothèque des dessins et insérés dans les rapports de la manière habituelle.

6.1.7. Vitesse nodale

L'analyse dynamique fournit six composantes de vitesse nodale dans le système de coordonnées global (trois en translation et trois en rotation) à chaque nœud. Les valeurs résultantes des composantes de translation *(vR)* et de rotation *(vRR)* sont également déterminées.

6.1.8. Accélération nodale

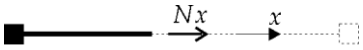
L'analyse dynamique fournit six composantes d'accélération nodale dans le système de coordonnées global (trois en translation et trois en rotation) à chaque nœud. Les valeurs résultantes des composantes de translation *(aR)* et de rotation *(aRR)* sont également déterminées.

6.1.9. Forces internes dans la ferme et la poutre

Ferme

Les forces internes axiales (*Nx*) sont calculées pour chaque ferme.

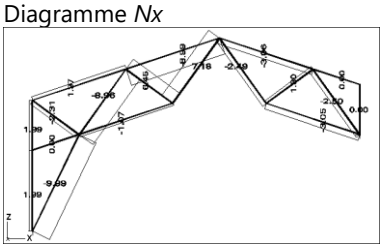
Une force axiale positive correspond à une tension, une force axiale négative correspond à une compression.



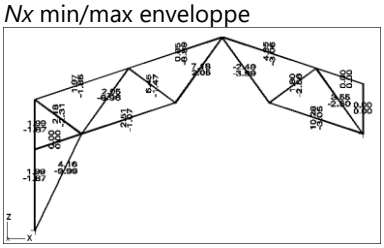
Lors de l'affichage des résultats *Enveloppe* et *Critique,* les valeurs minimales et maximales peuvent être affichées simultanément.

Affichage des forces internes d'une ferme principale

Diagramme *Nx*

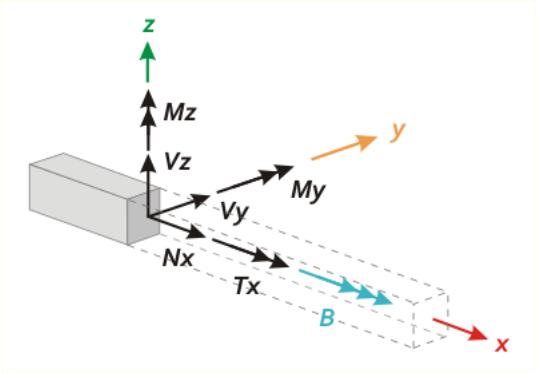


Nx min/max enveloppe



Poutre

Trois forces internes orthogonales, une force axiale et deux forces de cisaillement (*Nx , Vy , Vz)* et trois moments internes, un de torsion et deux de flexion *(Tx, My, Mz)* - pour les poutres de 7 DDL aussi à *bi moment B* - sont calculés aux sections transversales intermédiaires de chaque élément.



Les forces internes sont liées à l'élément système de coordonnées locales, et les conventions de signe positif s'appliquent comme dans la figure ci-dessus. Les diagrammes des moments sont dessinés du côté de la tension des éléments de la poutre.

Affichage des forces internes d'une ossature :

Diagramme Nx

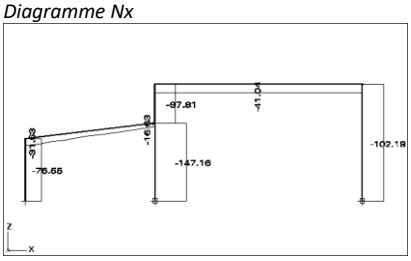


Diagramme Vz

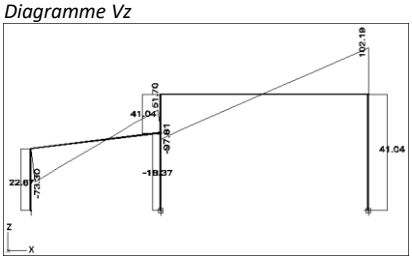
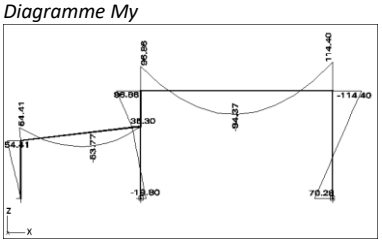
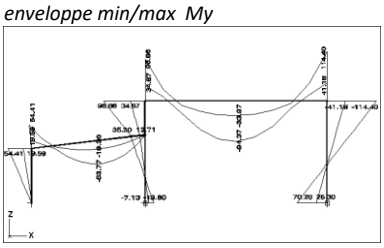


Diagramme My



enveloppe min/max My



Sur les poutres à 7 DDL

Diagramme B

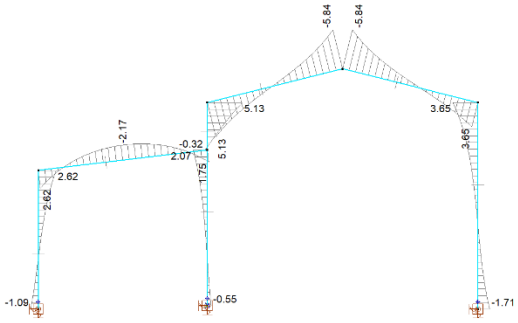
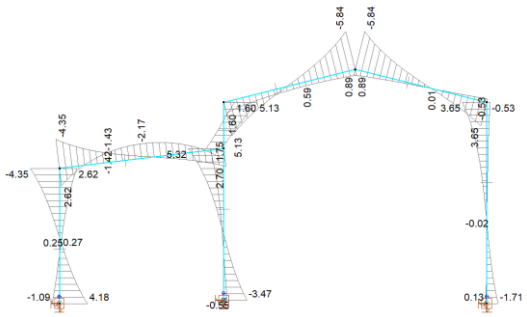


Diagramme B Min / max



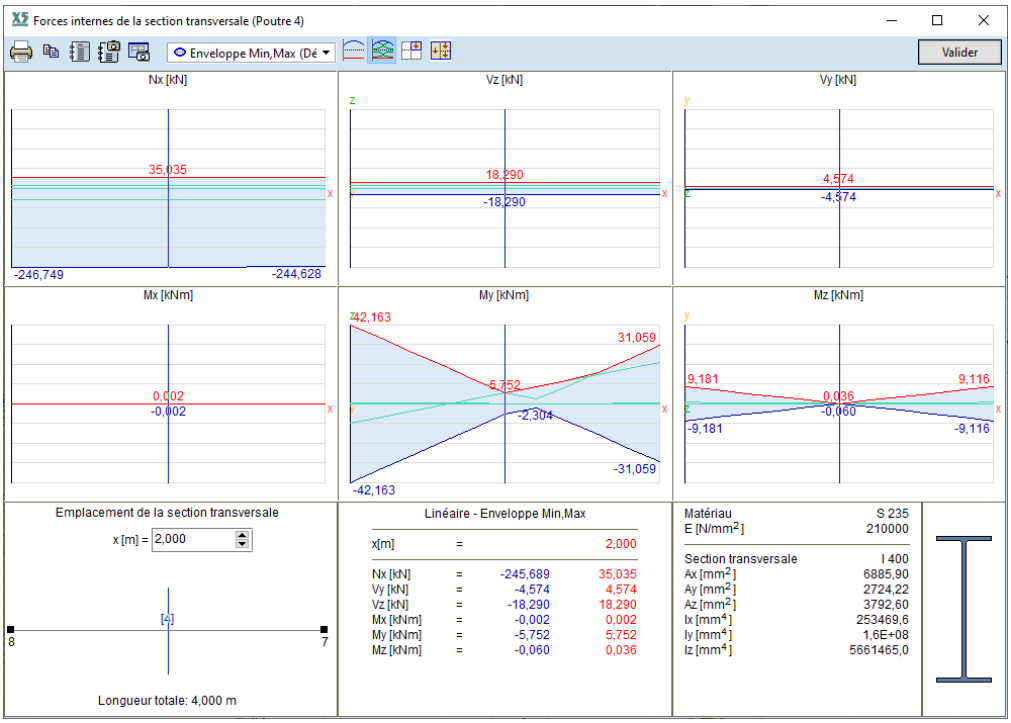
Affichage des forces internes de poutres/fermes

Vous pouvez afficher les forces internes de plus d'une ferme/ et d'une poutre si:

a) La déviation angulaire des axes locaux x et z ne dépasse pas les valeurs maximales respectives spécifiées dans le dialogue Paramètres d'affichage des résultats. *Paramètres divers*

b) Les éléments ont le même matériau.

Si vous cliquez sur un élément de la poutre, les six composantes de la force interne de la poutre sont affichées sous forme de diagramme.

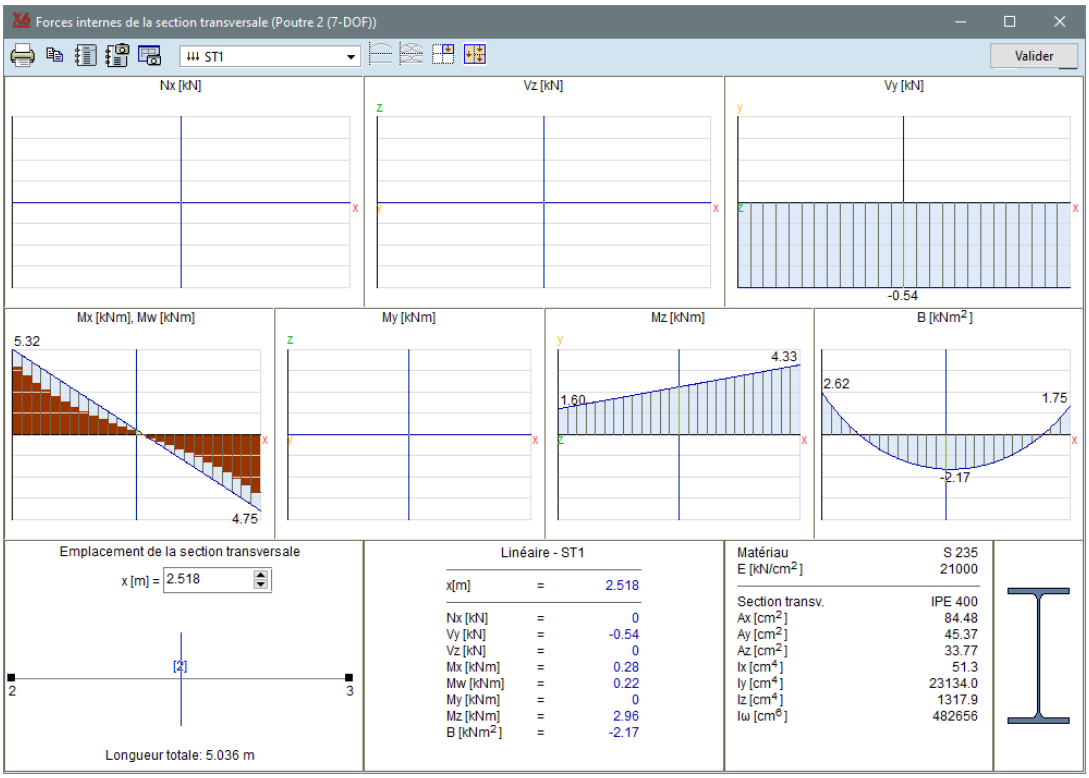


Lors de la sélection de l'enveloppe ou de la combinaison de charges critiques, les valeurs minimales et maximales de la force interne de la poutre sélectionnée des sections transversales intermédiaires seront affichées.

Vous pouvez afficher les diagrammes correspondant à n'importe quel cas de charge ou combinaison, ainsi que les enveloppes. Vous pouvez activer et désactiver l'affichage des fonctions des enveloppes et définir la position le long du membre où vous voulez que les résultats soient affichés.

Diagrammes pour les poutres à 7 DDL

Outre les forces et moments *Nx, Vy, Vz, Tx, My, Mz*, un diagramme du bi moment B apparaît également. Dans les cas de charge et les combinaisons de charge, le diagramme *Tx* affiche également la torsion de déformation *Mw*.



Tableaux de résultats

Trois types de tableaux différents sont disponibles.

Forces internes de la poutre : affiche les forces internes le long de la poutre
Forces internes à l'extrémité des poutres : affiche les forces internes uniquement au début et à la fin des poutres
Forces pour l'étude des connexions : liste des forces internes des nervures / poutres / fermes par nœud

Voir... *6.1.5. Tableaux de résultats*

Enregistrez les diagrammes dans le Bibliothèque de dessins



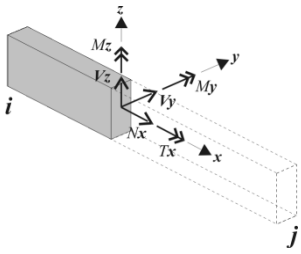
Les diagrammes associatifs peuvent être sauvegardés dans la Bibliothèque des dessins. Les dessins de cette bibliothèque peuvent être insérés dans des rapports. Après avoir modifié et recalculé les projets de diagrammes dans la bibliothèque, les rapports changent en conséquence.

Si les valeurs min/max se produisent à un seul endroit, les valeurs concomitantes des composantes afférentes de la force interne sont affichées, ou le symbole * (s'il y a plusieurs endroits). L'occurrence d'un tel emplacement est affichée.

Voir... *6.1.5. Tableaux de résultats*

6.1.10. Forces internes d'une nervure

Trois forces internes orthogonales, une axiale et deux de cisaillement *(Nx, Vy, Vz)*. et trois moments internes, un de torsion et deux de flexion *(Tx, My, Mz)* sont calculés aux nœuds de chaque élément. La nervure peut être utilisée indépendamment (non reliée à un élément surfacique), ou reliée à un élément surfacique.



Les forces internes sont liées au système de coordonnées locales de l'élément positionné au centre de gravité de la section transversale, et les conventions de signe positif s'appliquent comme dans la figure ci-dessous. Les diagrammes des moments sont dessinés du côté de la tension des éléments de la poutre.

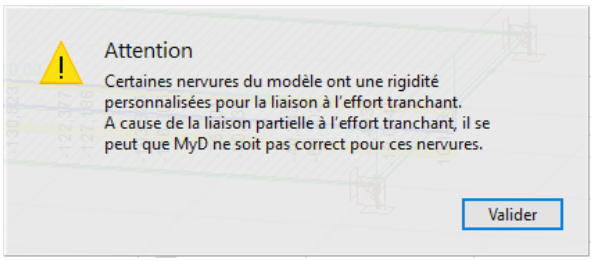
Si la nervure est reliée de manière excentrique à un élément de l'enveloppe, des forces axiales apparaîtront dans la nervure et dans l'enveloppe. Dans ce cas, le moment d'étude peut être calculé comme suit : $M_{yD} = M_y e_z \cdot N_x$

Hypothèses pour le calcul de la composante MyD

Le moment d'étude M_{yD} est toujours calculé par le programme, mais la méthode de calcul ci-dessus ne donne de bons résultats qu'en fonction des hypothèses suivantes. Dans tous les cas, l'utilisateur doit vérifier leur réalisation.

- Il y a une liaison de cisaillement entièrement rigide entre la nervure et la coque,
- Il n'y a pas de force normale significative dans la nervure, sauf en raison de la flexion,
- La nervure est suffisamment rigide / large par rapport à la dalle, de sorte que négliger le moment de flexion de la dalle ne provoque pas d'erreur considérable (le moment de flexion de la dalle n'est pas inclus dans M_{yD}).

M_{yD} est également calculé et affiché lorsque la liaison élastique en cisaillement est définie entre la dalle et la nervure, mais dans ce cas, le programme donne un message d'avertissement lorsque la composante de résultat M_{yD} est sélectionnée (elle n'apparaît qu'une seule fois après avoir sélectionné cette composante pour la première fois après l'analyse).



Conditions de calcul de la composante v_{xz}

Dans le cas des nervures inférieures et supérieures, si la liaison de cisaillement de type *élastique* (voir... *4.9.9 Éléments linéaires)* est définie, alors la force de cisaillement longitudinale spécifique - composante de résultat v_{xz} - est également calculée. Si l'on utilise une liaison de cisaillement de type *rigide,* ce type de composante de résultat n'est pas disponible).

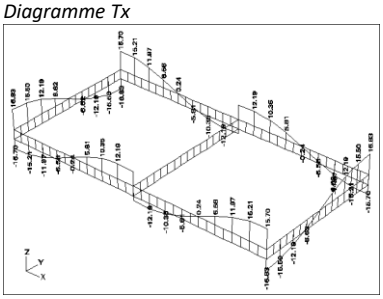
Afficher les forces internes dans la nervure

Vous pouvez afficher les forces internes de plus d'un élément de nervure si :

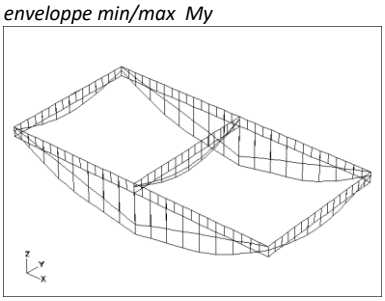
a) La déviation angulaire des axes locaux x et z ne dépasse pas les valeurs maximales respectives spécifiées dans le dialogue Paramètres d'affichage des résultats / (voir... *Paramètres divers)*
b) Les éléments ont le même matériau.

Affichage des forces internes d'une plaque nervurée:

Diagramme Tx



enveloppe min/max My



Tableaux de résultats

Voir... *6.1.5. Tableaux de résultats*

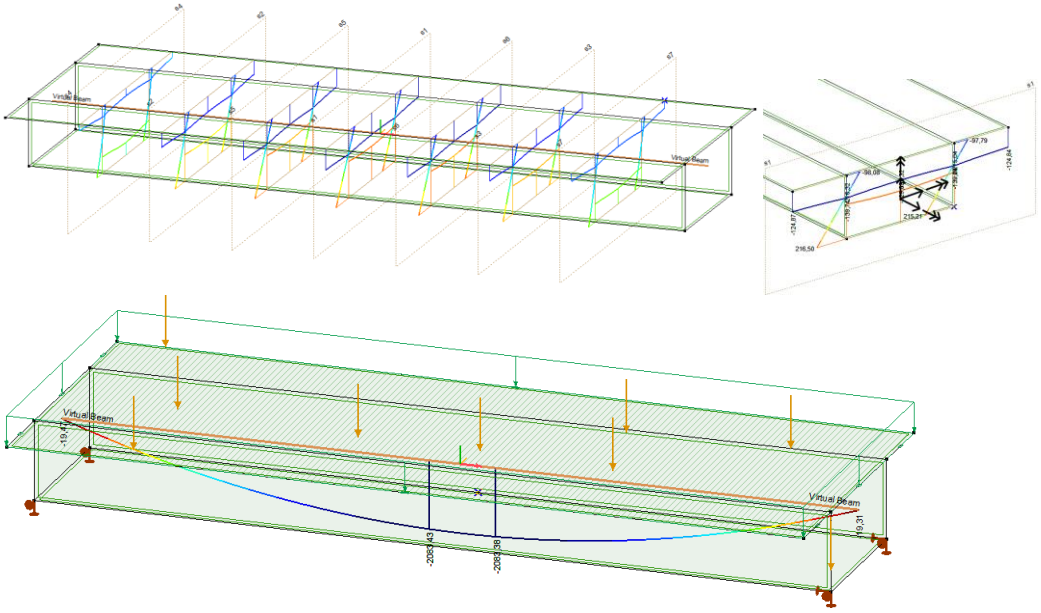
Une erreur possible

MyD suppose que la nervure est connectée à des éléments surfaciques Si une nervure se trouve sur le bord de plus d'un domaine, l'utilisateur doit s'assurer que la nervure est connectée à un domaine ayant des éléments surfaciques le long de la nervure. Sélectionnez un domaine (ou deux domaines) avant de définir une nervure pour enregistrer la nervure dans ce domaine. Mais si vous définissez une nervure en l'enregistrant sur un domaine qui a un trou le long de la nervure, c'est une erreur.
Les domaines enregistrés à la nervure peuvent être vérifiés dans l'info-bulle de l'élément qui apparaît si l'onglet Éléments est actif et que la souris survole l'élément.
L'enregistrement des domaines prend également en compte les parties visibles. Si une nervure se trouve au bord de plusieurs domaines, et qu'un seul de ces domaines est visible (les parties auxquelles appartiennent les autres domaines sont désactivées), la situation devient claire, et la nervure sera enregistrée au seul domaine visible.

6.1.11. Forces internes de la poutre virtuel

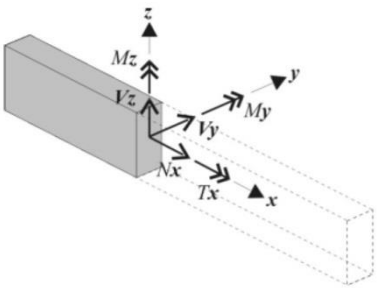
Calcul

Après avoir défini les poutres virtuelles (voir... *2.16.16. Poutres virtuelles*), le programme calcule le centre de gravité dans chaque section transversale pour déterminer la ligne centrale, sur laquelle un nombre fini de sections transversales sont prises, en fonction de la géométrie, des éléments de liaison et de la densité du maillage d'éléments finis. Dans chaque section transversale, les forces de section transversale sont réduites à l'intersection de la ligne centrale et du plan de la section transversale. Après cette procédure, les résultats de la poutre virtuel sont tracés sur la ligne centrale.



Composantes des forces internes

Trois forces internes orthogonales, une force axiale et deux forces de cisaillement *(Nx , Vy , Vz)* et trois moments internes, un de torsion et deux de flexion *(Tx, My, Mz)* sont calculés aux sections transversales intermédiaires de chaque élément.
Les forces internes sont liées au système de coordonnées locales, et les conventions de signe positif s'appliquent comme dans la figure. Les diagrammes de moments sont dessinés du côté de la tension des éléments de la poutre.



Tableaux de résultats

Les résultats sont répertoriés dans toutes les sections transversales, avec les coordonnées globales du centre de gravité.

6.1.12. Forces internes des éléments surfaciques

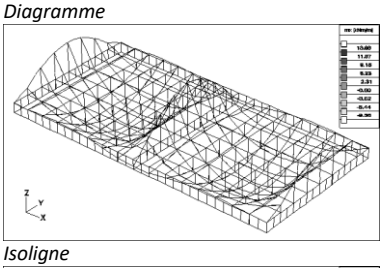
Forces internes

Les forces internes et les conventions de signe positif de chaque type d'élément surfacique sont résumées dans le tableau ci-dessous.

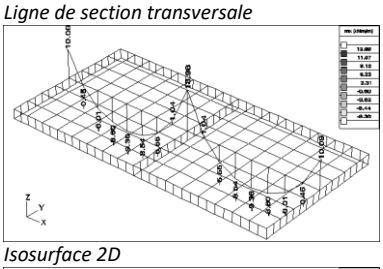
Éléments surfacique					
Membrane	n_x n_y n_{xy}	*Plaque*	m_x m_y m_{xy} v_{xz} v_{yz}	*Coque*	n_x n_y n_{xy} m_x m_y m_{xy} v_{xz} v_{yz}

Affichage des forces internes d'une plaque nervurée:

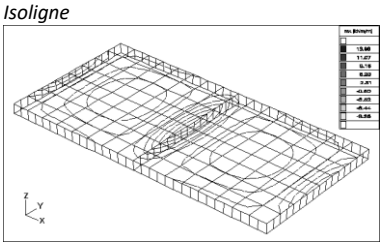
Diagramme



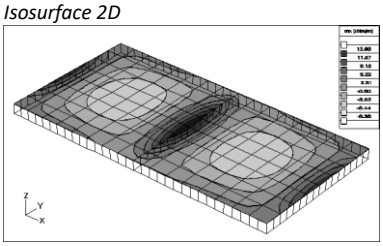
Ligne de section transversale



Isoligne



Isosurface 2D



☞ **L'indice x et y des moments de la plaque indique la direction des contraintes normales qui se produisent en raison du moment correspondant, et non l'axe de rotation.**

Ainsi, le moment *mx* tourne autour de l'axe local *y,* tandis que le moment *my* tourne autour de l'axe local *x*.
Les diagrammes des moments des éléments de plaque et de coque sont dessinés du côté de la tension. Sur la surface supérieure (déterminée par la direction *z* locale), le signe est toujours positif, sur la surface inférieure, il est toujours négatif.

Variation d'intensité

La méthode des éléments finis est une méthode approximative. Dans des *circonstances normales,* les résultats convergent vers les valeurs exactes au fur et à mesure que le maillage est affiné.
Le raffinement du maillage (le nombre d'éléments utilisés dans le maillage), la géométrie des éléments, la charge et les conditions d'appui, et de nombreux autres paramètres influencent les résultats. Par conséquent, certains résultats seront relativement précis alors que d'autres nécessiteront que l'utilisateur détermine s'ils répondent aux conditions de précision qu'il attend.

Les valeurs de variation d'intensité sont destinées à vous aider à identifier les régions de votre projet (maillage) où il est possible que la précision des résultats ne soit pas satisfaisante, sans effectuer d'analyse supplémentaire. Cette méthode ne montre pas que les résultats sont bons, mais elle met en évidence les variations d'intensité de grande amplitude, là où vous pouvez souhaiter vérifier et/ou affiner votre maillage.
Les valeurs autorisées de la variation d'intensité peuvent être déterminées en fonction de la pratique.

Moyenne des moments de pointe sur les poteaux

Si nous modélisons les poteaux se raccordant aux dalles comme des appuis nodaux, des pics de moment apparaîtront au-dessus des appuis. Si nous utilisons un maillage plus dense, ces pics augmentent en raison de la nature de la méthode des éléments finis. Un projet plus réaliste tient compte du fait que les poteaux ont une section transversale surfacique non nulle. En connaissant la section transversale du poteau, on peut faire la moyenne des pics de moment. Si nous avons coché l'option *Ajuster le maillage*

aux têtes de poteau (*4.11.1.2. Maillage des domaines*), le maillage suit déjà la section transversale du poteau. Après avoir activé l'option *Couper les pics de moment sur les poteaux dans* le dialogue *Paramètres d'affichage* (*6.1. Statique*), les diagrammes de moment seront affichés en mode Iso surfaces 3D comme le diagramme de droite ci-dessous.

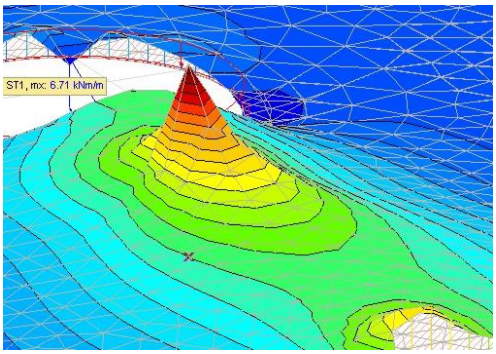


Diagramme sans couper les pics de moment

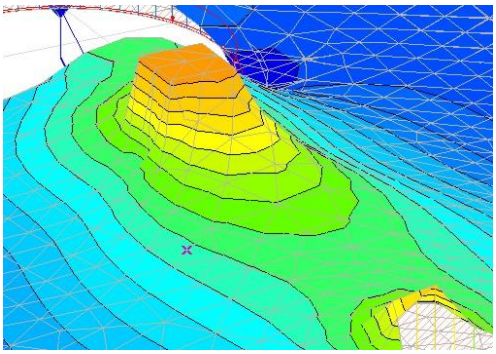
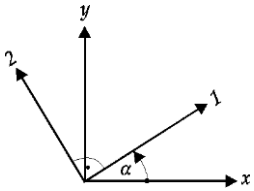


Diagramme avec les pics de moment coupés

Tableaux de résultats

Voir... *6.1.5. Tableaux de résultats*

Principales forces

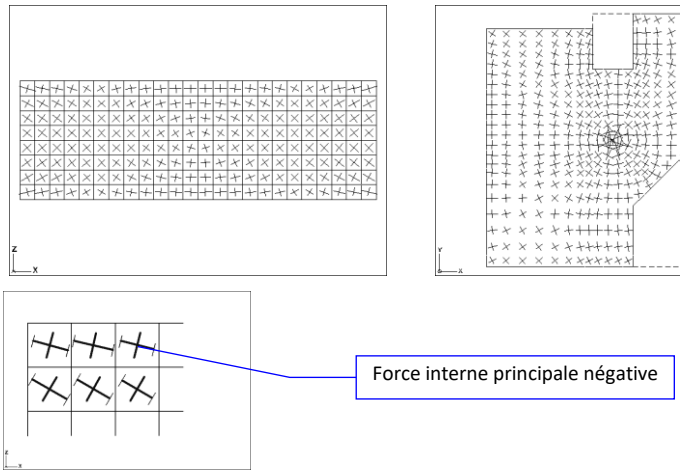


Les forces internes principales *n1, n2 et m1, m2,* sont calculées avec leur direction : *αn et* αm.
La direction des forces principales 1 et 2 peut également être interrogée individuellement en choisissant les composantes de résultats *αn1, αn2 et αm1, αm2.*
Au-dessus, la force de cisaillement résultante *vRz* est également calculée avec sa direction : *αvRz.*
Les conventions de signature sont les suivantes :
$m_1 \geq m_2, n_1 \geq n_2, -90° < \alpha \leq +90°$ (par rapport à l'axe ***x*** local)

	Shell	
	Membrane	*Plaque*
n_1	$n_1 = \frac{n_x + n_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{n_x - n_y}{2}\right)^2 + n_{xy}^2}$	—
n_2	$n_2 = \frac{n_x + n_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{n_x - n_y}{2}\right)^2 + n_{xy}^2}$	—
α_n	$\mathrm{tg}(2\alpha_n) = \frac{2n_{xy}}{n_x - n_y}$	—
m_1	—	$m_1 = \frac{m_x + m_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{m_x - m_y}{2}\right)^2 + m_{xy}^2}$
m_2	—	$m_2 = \frac{m_x + m_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{m_x - m_y}{2}\right)^2 + m_{xy}^2}$
α_m	—	$\mathrm{tg}(2\alpha_m) = \frac{2m_{xy}}{m_x - m_y}$
vRz	—	$vRz = \sqrt{v_{xz}^2 + v_{yz}^2}$
αvRz	—	$\alpha vRz = arctg\left(\frac{v_{yz}}{v_{xz}}\right)$

☞ **Dans le cas des éléments de membrane de contrainte plane, nz≠ 0 et n'est pas déterminé.**

Les forces internes peuvent être affichées sous forme de diagramme, ligne de section, d'isoligne ou d' isosurface.
Les principales directions *(αn, αn1, αn2* et *αm, αm1, αm2* et *αvRz)* ne être affichées que sous forme de diagrammes+++. La couleur et la taille du vecteur de direction sont déterminées en fonction de la valeur des principales forces internes respectives.
Si la force interne principale est négative, le vecteur directionnel correspondant est limité par deux segments perpendiculaires à celui-ci.



Tableaux de résultats

Voir... *6.1.5. Tableaux de résultats*

Forces d'armature

Pour les éléments surfacique *nxv, nyv, mxv, myv, les* forces et les moments d'armature (d'étude) sont également calculés selon les règles suivants :

$$n_{xv} = n_x \pm |n_{xy}|, \qquad n_{yv} = n_y \pm |n_{xy}|$$
$$m_{xv} = m_x \pm |m_{xy}|, \qquad m_{yv} = m_y \pm |m_{xy}|$$

Les forces d'étude des armatures peuvent être affichées sous forme de diagramme, ligne de section et de couleur iso-ligne/surface.

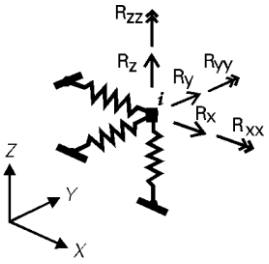
Variation d'intensité

dnx, dny, dnxy, dmx, dmy, dmxy, dqx, dqy sont des composantes de résultat sans dimension montrant la variation de l'intensité dans un élément fini. La différence entre la valeur maximale et minimale au sein de l'élément fini est divisée par une valeur de référence. La valeur de référence peut être fixée à l'une des valeurs suivantes :

- Maximum absolu de la composante de force respective sur l'ensemble du projet
- Maximum absolu de la composante de force respective sur les parties actives
- Valeur personnalisée

La valeur de référence peut être sélectionnée dans la boîte de dialogue *Paramètres d'affichage des résultats* (voir... *6.1. Statique*).

6.1.13. Forces internes des appuis



Les composantes de déplacement positif et de rotation provoquent des composantes de force interne positives. L'allongement des éléments de ressort d'appui provoque une force de traction, tandis que leur raccourcissement provoque une force de compression.

Les forces internes peuvent être affichées sous forme de diagramme ou de couleur. Dans le cas d'appuis nodaux, lors de l'affichage sous forme de diagramme, les composantes des forces internes sont représentées sous forme de vecteurs.

Forces internes résultantes

Les forces internes qui en résultent $\mathrm{R_{eR}}, \mathrm{R_{\Theta R}}$ sont calculées comme suit:

$$R_{eR} = \sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2}, \qquad R_{\Theta R} = \sqrt{R_{xx}^2 + R_{yy}^2 + R_{zz}^2}$$

Les composantes de résultat Rxyz et Rxxyyzz font référence à un mode d'affichage spécial dans lequel les différentes composantes de force ou de moment sont affichées simultanément sous la forme de trois flèches pointant dans la direction locale respective.

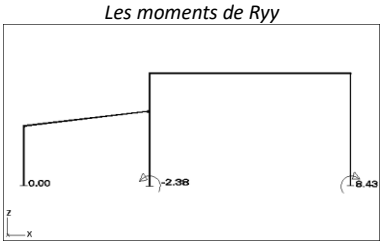
Rapport entre les forces horizontales et verticales

Une composante de résultat montrant le rapport entre les forces horizontales et verticales est calculée comme suit

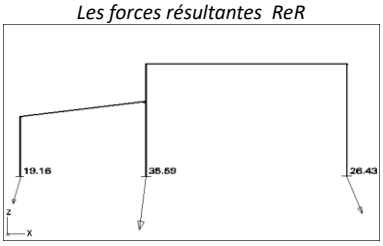
$$\alpha_R = \frac{1}{R_z}\sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

Affichage des forces internes des appuis dans une ossature et une structure de coque :

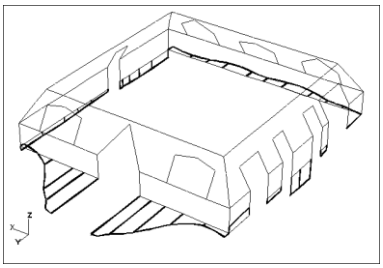
Les moments de Ryy



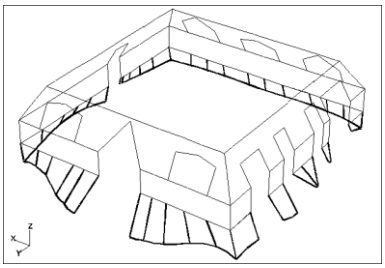
Les forces résultantes ReR



Forces de bord Ry



Les forces résultantes de la bordure ReR

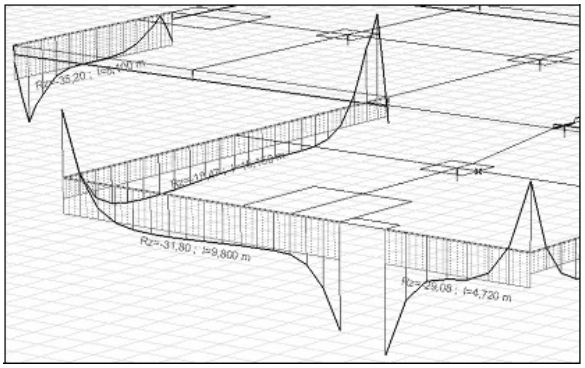


Tableaux de résultats

Voir... *6.1.5. Tableaux de résultats*

Diagramme+ valeurs moyennes

Lors de l'affichage des forces d'appui linéaires, un mode d'affichage spécial *(Diagramme + valeurs moyennes)* est disponible. Si ce mode est sélectionné, les diagrammes des forces d'appui en ligne sont améliorés par l'affichage et l'étiquetage de la valeur moyenne. Le calcul de la moyenne est effectué sur des appuis continus. Les appuis sont considérés comme continus s'ils ont la même rigidité et si leur angle est inférieur à une petite limite. Les annotations indiquent également la longueur du segment de calcul de la moyenne.



En option, les résultats peuvent être moyennés sur chaque élément de structure séparément. La méthode de calcul de la moyenne peut être sélectionnée dans la boîte de dialogue *Paramètres d'affichage des résultats* (voir... *6.1. Statique*).

Valeur moyenne

Pour les forces d'appui en surface, un mode d'affichage séparé est introduit, qui affiche les valeurs moyennes de *Rx, Ry* ou *Rz*. En option, les résultats peuvent être moyennés sur chaque domaine séparément. La méthode de calcul de la moyenne peut être sélectionnée dans la boîte de dialogue *Paramètres d'affichage des résultats* (voir... *6.1. Statique*). Il est également possible de calculer la moyenne pour les régions positives et négatives séparément.

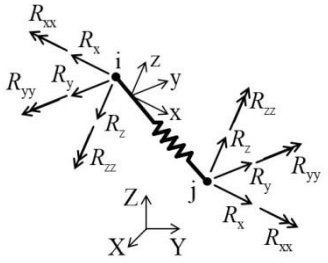
6.1.14. Forces internes des éléments de liaison ligne à lignes et d'articulation de bord

Forces internes

AxisVM détermine les forces *nx, ny, nz et les* moments *mx, my, mz* pour les éléments de liaison ligne à ligne et des articulations de bord. Si une composante de rigidité est définie à zéro, la composante de résultat correspondante est nulle et n'est pas affichée dans la combinaison de composantes ni dans les tableaux de résultats.

6.1.15. Forces internes des éléments de ressort

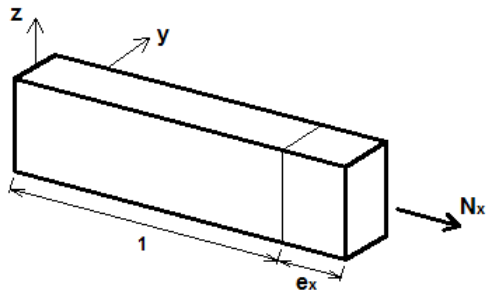
Les forces internes sont liées au système de coordonnées local. Les conventions de signe positif s'appliquent comme dans la figure.

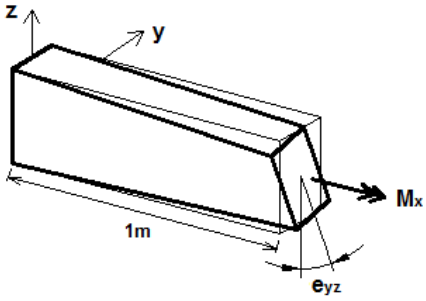


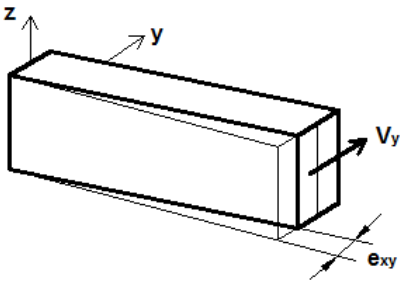
6.1.16. Déformation des fermes, poutres et nervures

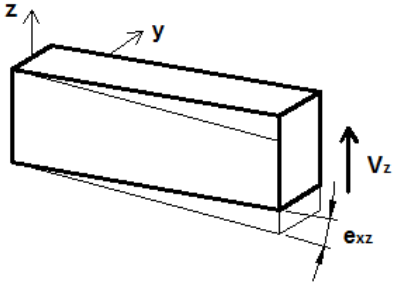
Les résultats des déformations ne sont disponibles qu'en cas d'analyse Matériellement non linéaire.

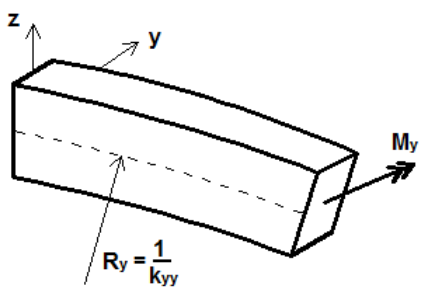
Composants de la contrainte	
exx	Déformation axiale dans la direction *x* locale
exy	Déformation de cisaillement dans le plan *xy local*
exz	Déformation de cisaillement dans le plan *xz* local
eyz	Déformation par torsion dans la direction x locale
kyy	Courbure dans le plan *xy* local
kzz	Courbure dans le plan *xz* local

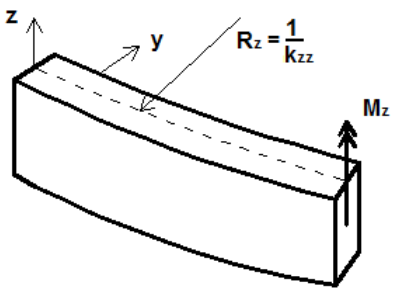












Les composantes de déformation suivantes sont disponibles pour les éléments linéaires

Composant de la contrainte	*Ferme*	*Poutre*	*Nervure*
exx	*exx*	*exx*	*exx*
kyy		*kyy*	*kyy*
kzz		*kzz*	*kzz*
eyz		*eyz*	*eyz*
exy			*exy*
exz			*exz*

6.1.17. Déformation aux points de contrainte des fermes, poutres et nervures

Les résultats de déformation aux points de contrainte ne sont disponibles que dans le cas d'une analyse avec non-linéarité des matériaux. Les valeurs de déformation suivantes sont calculées pour les fermes et à chaque point de contrainte de chaque section transversale des poutres et nervures

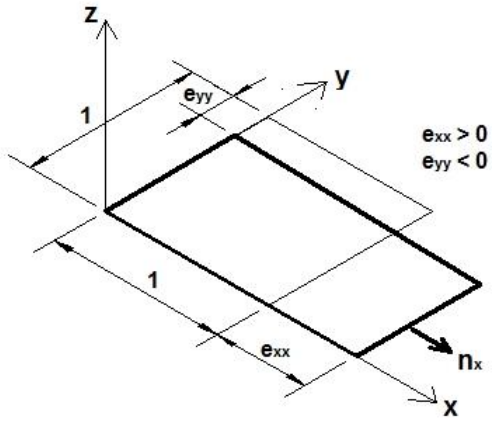
Composants de déformation aux points de contrainte	
exx T	Déformation axiale dans la direction *x* locale, totale
(NLP) exx E	Déformation axiale dans la direction *x* locale, élastique
(NLP) exx P	Déformation axiale dans la direction *x* locale, plastique
(NLP) eeff	Déformation plastique efficace
(NLP) deeff	Incrément de la déformation plastique efficace
(NLE) eeff	Déformation efficace $(NLE)\ e_{eff} = \lvert e_{xx}\ T \rvert$
Notation	(NLE) - Matériau élastique non linéaire (NLP) - Matière plastique non linéaire T - Total E - Élastique P - Plastique

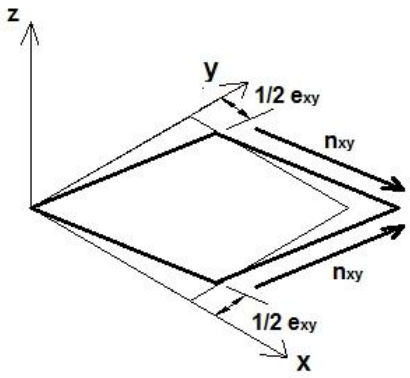
6.1.18. Déformation des éléments surfaciques

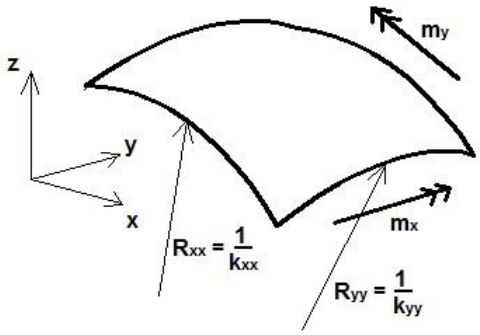
Les résultats des déformations ne sont disponibles qu'en cas d'analyse Matériellement non linéaire.

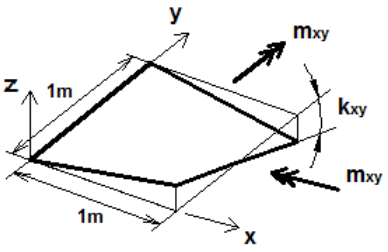
Composants de la contrainte	
exx	Déformation axiale dans la direction *x* locale
eyy	Déformation axiale dans la direction *y* locale
exy	Déformation de cisaillement dans le plan *xy* local
kxx	Courbure dans le plan *xz* local
kyy	Courbure dans le plan *yz* local
kxy	Courbure de distorsion
fzz	Rotation autour de l'axe z local (forage)

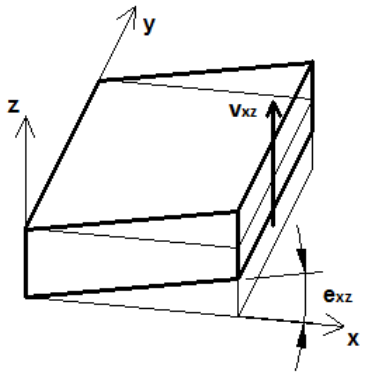
exz	Déformation de cisaillement dans le plan *xz* local
eyz	Déformation de cisaillement dans le plan *yz* local
eSz	Déformation de cisaillement résultante normale au plan de l'élément $e_{Sz} = \sqrt{e_{xz}^2 + e_{yz}^2}$
e1	Déformation principale maximale dans le plan *xy* local
e2	Déformation principale minimale dans le plan *xy* local
ae	Angle de la direction principale de la déformation
k1	Courbure principale maximale
k2	Courbure principale minimale
ak	Angle de la direction de la courbure principale

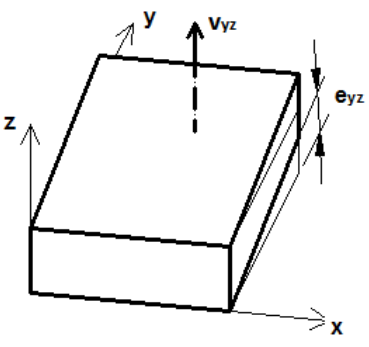












Les éléments de déformation suivants sont disponibles pour les éléments surfaciques:

Composant de la contrainte	*Membrane*	*Plaque*	*Shell*
exx	*exx*		*exx*
eyy	*eyy*		*eyy*
exy	*exy*		*exy*

fzz	*fzz*		*fzz*
kxx		*kxx*	*kxx*
kyy		*kyy*	*kyy*
kxy		*kxy*	*kxy*
exz		*exz*	*exz*
eyz		*eyz*	*eyz*
eSz		*eSz*	*eSz*
e1	*e1*		*e1*
e2	*e2*		*e2*
ae	*ae*		*ae*
k1		*k1*	*k1*
k2		*k2*	*k2*
ak		*ak*	*ak*

6.1.19. Déformations des éléments surfaciques aux points de contrainte

Les résultats des déformations aux points de contrainte ne sont disponibles qu'en cas d'analyse Matériellement non linéaire. Les composants de déformation suivants sont calculés à chaque nœud de l'élément dans la fibre supérieure, centrale et inférieure :

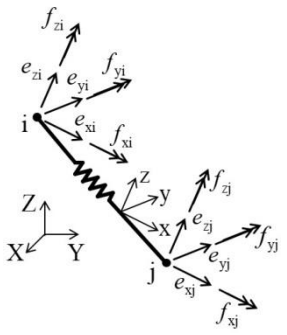
Composants de déformation aux points de contrainte	
exx T, (NLP) exx E, (NLP) exx P	Déformation axiale dans la direction *x* locale
eyy T, (NLP) eyy E, (NLP) eyy P	Déformation axiale dans la direction *y* locale
exy T, (NLP) exy E, (NLP) exy P	Déformation de cisaillement dans le plan *xy* local
e1 T, (NLP) e1 E, (NLP) e1 P	Déformation principale maximale dans le plan *xy* local
e2 T, (NLP) e2 E, (NLP) e2 P	Déformation principale minimale dans le plan *xy* local
ae T, (NLP) ae E, (NLP) ae P	Angle de la direction principale de la déformation
(NLP) eeff	Déformation plastique efficace
(NLP) deeff	Augmentation efficace de la déformation plastique
(NLE) eeff	Déformation efficace $e_{eff} = \sqrt{\frac{1}{(1-2\nu)(1+\nu)}\left[(1-\nu)(e_{xx}^2+e_{yy}^2+e_{zz}^2)+2\nu(e_{xx}e_{yy}+e_{xx}e_{zz}+e_{yy}e_{zz})+\frac{1-2\nu}{2}e_{xy}^2\right]}$

Notation

(NLE) - Matériau élastique non linéaire
(NLP) - Matière plastique non linéaire
T - Total
E - Élastique
P – Plastique

6.1.20. Déformations des éléments de ressort

Composants de déformation	*Déformations dans les directions locales*
ex	$e_x = e_{xj} - e_{xi}$
ez	$e_y = e_{yj} - e_{yi}$
ez	$e_z = e_{zj} - e_{zi}$
	Déformations de rotation sur les axes locaux
fx	$f_x = f_{xj} - f_{xi}$
fy	$f_y = f_{yj} - f_{yi}$
fz	$f_z = f_{zj} - f_{zi}$



6.1.21. Contrainte dans les fermes, les poutres et les nervures

Les modes d'affichage des résultats de contrainte sont les mêmes que pour les forces internes. Le tableau des résultats de la contrainte est similaire à celui des forces internes.

Ferme

Le $S_x = N_x/A_x$ La valeur de la contrainte est calculée pour chaque élément de la structure.
Une valeur positive est synonyme de traction.

Poutres / Nervures

Les valeurs de contrainte suivantes sont calculées en chaque point de contrainte de chaque section transversale de l'élément de poutre/clé:

La contrainte normale de traction/compression et de flexion est calculée sans tenir compte de la contrainte de déformation :

$$S_{x,i} = \frac{N_x}{A_x} + \frac{M_y I_z + M_z I_{yz}}{I_y I_z - I_{yz}^2} z_i - \frac{M_z I_y + M_y I_{yz}}{I_y I_z - I_{yz}^2} y_i$$

Où y_i , z_i sont les coordonnées du point de contrainte. Une valeur de contrainte positive signifie une traction dans la section transversale.
La contrainte de cisaillement résultante est calculée à partir du cisaillement et de la torsion (Saint-Venant), sans tenir compte de la contrainte de cisaillement de gauchissement.

Pour les sections transversales à paroi épaisse $V_i = \sqrt{V_{y,i}^2 V_{z,i}^2}$,

Où se trouvent les composantes de la contrainte de cisaillement:

$$V_{y,i} = \frac{V_y}{A_x}\left(\frac{\partial \Phi_y}{\partial y}\right)_i + \frac{V_z}{A_x}\left(\frac{\partial \Phi_z}{\partial y}\right)_i + \frac{M_x}{I_x}\left[\left(\frac{\partial \omega}{\partial y}\right)_i - z_i\right]$$

$$V_{z,i} = \frac{V_y}{A_x}\left(\frac{\partial \Phi_y}{\partial z}\right)_i + \frac{V_z}{A_x}\left(\frac{\partial \Phi_z}{\partial z}\right)_i + \frac{M_x}{I_x}\left[\left(\frac{\partial \omega}{\partial z}\right)_i + y_i\right]$$

Où Φ_y et Φ_z sont les fonctions de contrainte de cisaillement pour le cisaillement dans les directions y et z, est la fonction de déformation.

Pour les sections transversales à parois minces :

$$V_i = \left| \frac{V_y}{A_x}\left(\frac{\partial \Phi_y}{\partial s}\right)_i + \frac{V_z}{A_x}\left(\frac{\partial \Phi_z}{\partial s}\right)_i + \frac{M_x}{I_x}\left[\left(\frac{\partial \omega}{\partial s}\right)_i - m_i\right] \right| + \frac{M_x}{I_x} t_i$$

Où les deux derniers termes sont la contrainte de cisaillement due à la torsion dérivée du flux de cisaillement dans les sous-sections transversales fermées et ouvertes. m_i est la distance entre le centre de gravité et le segment, t_i est l'épaisseur de la paroi du segment. ω, Φ_y et Φ_z sont des valeurs centrales.

La contrainte de Von Mises est définie comme suit $S_{o,i} = \sqrt{S_{xi}^2 + 3V_i^2}$

Si une section transversale contient deux ou plusieurs parties distinctes, V_i et $S_{o,i}$ ne sont pas calculées.

Contrainte de cisaillement moyen : $V_{y,moyen} = \frac{V_y}{A_x}, V_{z,moyen} = \frac{V_z}{A_x}$ si $A_y = A_z = 0$ puis $A_y = A_y = A_x$

Contrainte des sections transversales composites

Les contraintes pondérées par le module [16, chapitre 1.2] sont calculées pour chaque partie des sections transversales composites. Les modules de référence E_{ref} et G_{ref} appartiennent au matériau de la partie extérieure de la section transversale.
La contrainte normale de traction/compression et de flexion est calculée sans tenir compte de la contrainte de déformation :

$$S_{x,i} = \frac{E_i}{E_{ref}}\left(\frac{N_x}{A_x} + \frac{M_y I_z + M_z I_{yz}}{I_y I_z - I_{yz}^2} z_i - \frac{M_z I_y + M_y I_{yz}}{I_y I_z - I_{yz}^2} y_i\right)$$

Où y_i , z_i sont les coordonnées du point de contrainte et E_i est le module de Young de la partie à laquelle appartient le point de contrainte.
La contrainte de cisaillement résultante est calculée à partir du cisaillement et de la torsion (Saint-Venant), sans tenir compte de la contrainte de cisaillement de gauchissement.

Pour les points de contrainte concernant des pièces à paroi épaisse $V_i = \sqrt{V_{y,i}^2 V_{z,i}^2}$,

Où se trouvent les composantes de la contrainte de cisaillement:

$$V_{y,i} = \frac{G_i}{G_{ref}}\left(\frac{V_y}{A_x}\left(\frac{\partial \Phi_y}{\partial y}\right)_i + \frac{V_z}{A_x}\left(\frac{\partial \Phi_z}{\partial y}\right)_i + \frac{M_x}{I_x}\left[\left(\frac{\partial \omega}{\partial y}\right)_i - z_i\right]\right)$$

$$V_{z,i} = \frac{G_i}{G_{ref}}\left(\frac{V_y}{A_x}\left(\frac{\partial \Phi_y}{\partial z}\right)_i + \frac{V_z}{A_x}\left(\frac{\partial \Phi_z}{\partial z}\right)_i + \frac{M_x}{I_x}\left[\left(\frac{\partial \omega}{\partial z}\right)_i + y_i\right]\right)$$

Où Φ_y et Φ_z sont les fonctions de contrainte de cisaillement pour le cisaillement dans les directions y et z, est la fonction de déformation et G_i est le module de cisaillement de la partie à laquelle le point de contrainte appartient.

Pour les points de contrainte concernant des pièces à paroi mince:

$$V_i = \frac{G_i}{G_{ref}}\left\{\left|\frac{V_y}{A_x}\left(\frac{\partial \Phi_y}{\partial s}\right)_i + \frac{V_z}{A_x}\left(\frac{\partial \Phi_z}{\partial s}\right)_i + \frac{M_x}{I_x}\left[\left(\frac{\partial \omega}{\partial s}\right)_i - m_i\right]\right| + \frac{M_x}{I_x}t_i\right\}$$

Où les deux derniers termes sont les contraintes de cisaillement due à la torsion dérivée du flux de cisaillement dans les sous-sections transversales fermées et ouvertes. m_i est la distance entre le centre de gravité et le segment, t_i est l'épaisseur de la paroi du segment. ω, Φ_y et Φ_z sont des valeurs centrales.

La contrainte de Von Mises est défini comme suit $S_{o,i} = \sqrt{S_{xi}^2 + 3V_i^2}$

☞ **Les points de contrainte à la limite de deux sections transversales, des composants appartiennent toujours à la section transversale à paroi mince.**

Pour les sections transversales composites $V_{y,moyen}$ et $V_{z,moyen}$ ne sont pas calculées.

☞ **La méthode de calcul pondérée par le module est basée sur l'hypothèse qu'il n'y a pas de liaison de cisaillement entre les parties de la section transversale composite. Cependant, elle n'a aucun effet pour la contrainte normale, en raison de la coïncidence du centre de gravité des pièces. Mais la contrainte de cisaillement serait différente s'il y avait une connexion de cisaillement.**

Autres composantes de la contrainte pour les matériaux non linéaires

NL élastique / Projet de matériau basé sur l'énergie de déformation

Un contrainte efficace.

Seule la contrainte normale affecte le comportement Matériellement non linéaire des éléments de la Ferme, de la poutre et des nervures.

La contrainte de cisaillement n'a aucun effet (pour plus d'informations, voir... *10 Références* [5])

$$(NL)\ S_{eff,i} = |S_{x.i}|$$

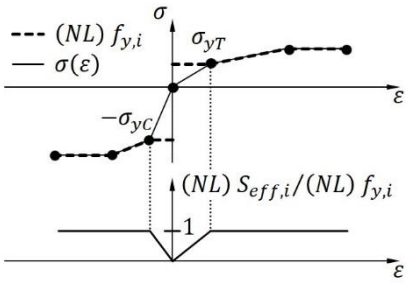
Limite d'élasticité réelle

C'est la limite réelle de proportionnalité influencée par le signe et l'ampleur de la contrainte normale

$$(NL)\ f_{y,i} = \begin{cases} \sigma(\varepsilon_{eff,i}) & if \quad S_{x,i} > \sigma_{yT} \\ \sigma_{yT} & if \quad 0 \le S_{x,i} \le \sigma_{yT} \\ \sigma_{yC} & if \quad -\sigma_{yC} \le S_{x,i} \le 0 \\ |\sigma(-\varepsilon_{eff,i})| & if \quad S_{x,i} < -\sigma_{yC} \end{cases}$$

Où σ_{yT} et σ_{yC} sont les points les plus proches du diagramme contrainte-déformation du matériau (voir... *3.1.15 Bibliothèque de matériaux*) sur la région positive et sur la région négative et $\varepsilon_{eff,i}$ est la

déformation efficace [(NLE) *eeff*, voir... *6.1.17. Déformation aux points de contrainte des fermes, poutres et nervures*].



L'exploitation :

$$(NL)\ Utilization_i = \frac{(NL)\ S_{eff,i}}{(NL)\ f_{y,i}}$$

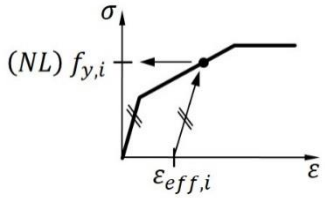
Matière plastique / projet de von Mises

Un contrainte efficace.
Seule la contrainte normale affecte le comportement Matériellement non linéaire des éléments de la ferme, de la poutre et des nervures.
La contrainte de cisaillement n'a aucun effet [5].

$$(NL)\ S_{eff,i} = |S_{r,x.i}|$$

où $S_{r,x,i} = S_{x,i} - B_{x,i}$ est la contrainte relative par rapport au centre de la surface d'élasticité. Voir... *3.1.15 Bibliothèque de matériaux*

Limite d'élasticité réelle
Il s'agit de la limite d'élasticité réelle influencée par l'effet de durcissement. Elle est calculée sur la base du diagramme contrainte-déformation du matériau (voir... *3.1.15. Bibliothèque de matériaux*)



où $\varepsilon_{eff,i}$ est la déformation plastique efficace ((NLP) *eeff*, voir... *6.1.17. Déformation aux points de contrainte des fermes, poutres et nervures*)
L'exploitation:

$$(NL)\ Utilization_i = \frac{(NL)\ S_{eff,i}}{(NL)\ f_{y,i}}$$

Matière plastique / projet de matériau Bresler-Pister

Un contrainte efficace.
Seule la contrainte normale affecte le comportement Matériellement non linéaire des éléments de la ferme, de la poutre et des nervures.
La contrainte de cisaillement n'a aucun effet [5].

$$(NL)\ S_{eff,i} = |S_{x.i}|$$

Limite d'élasticité réelle
Il s'agit de la limite d'élasticité réelle influencée par le signe de la contrainte normale:

$$(NL)\ f_{y,i} = \begin{cases} \sigma_{yT} & if \quad S_{x,i} \geq 0 \\ \sigma_{yC} & if \quad S_{x,i} < 0 \end{cases}$$

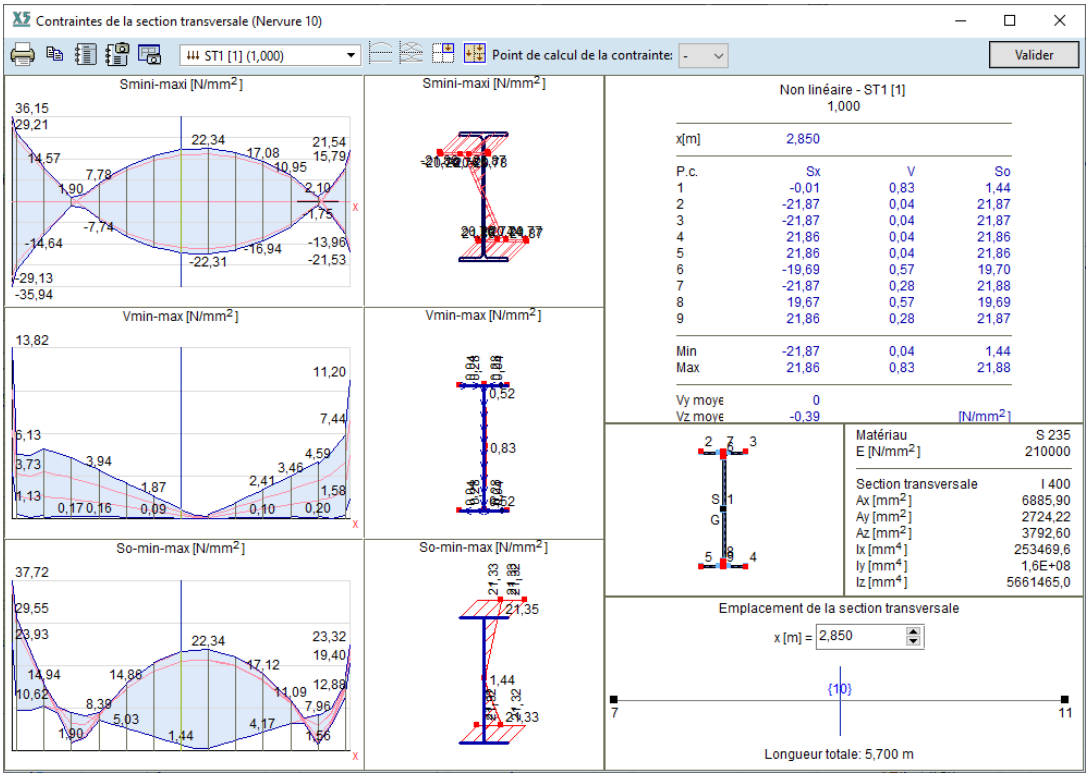
où σ_{yT} et σ_{yC} sont respectivement la limite d'élasticité en traction et en compression (voir... *3.1.15. Bibliothèque de matériaux*)

L'exploitation:

$$(NL)\ Exploitation_i = \frac{(NL)\ S_{eff,i}}{(NL)\ f_{y,i}}$$

Les contraintes de poutre *Sminmax, Vminmax, Sominmax* sont des valeurs minimales / maximales au sein de la section transversale et affichées comme des forces internes.

Vous pouvez cliquer sur un élément de poutre/nervure pour afficher les diagrammes de contraintes. Sur la gauche, les valeurs minimales/maximales le long de la ligne sont affichées. En faisant glisser la ligne bleue avec la souris, la position de l'évaluation peut être modifiée. Les diagrammes axonométriques au milieu et les tableaux à droite montrent la distribution des contraintes dans la section transversale au point d'évaluation.
Sélectionnez d'autres éléments avant de cliquer pour les afficher dans un diagramme. Les - poutres/nervures continues peuvent être affichées dans un seul diagramme si les conditions décrites au point *6.1.9 Forces internes dans la ferme et la poutre* sont satisfaites.



Vous pouvez afficher les diagrammes correspondant à n'importe quel cas de charge ou combinaison, ainsi que les enveloppes. Vous pouvez activer et désactiver l'affichage des fonctions des enveloppes et définir la position le long du membre où vous voulez que les résultats soient affichés.

Sauvegarder les diagrammes dans la bibliothèque de dessins

Les diagrammes associatifs peuvent être sauvegardés dans la Bibliothèque des dessins. Les dessins de cette bibliothèque peuvent être insérés dans des rapports. Après avoir modifié et recalculé les projets de diagrammes dans la bibliothèque, les rapports changent en conséquence.



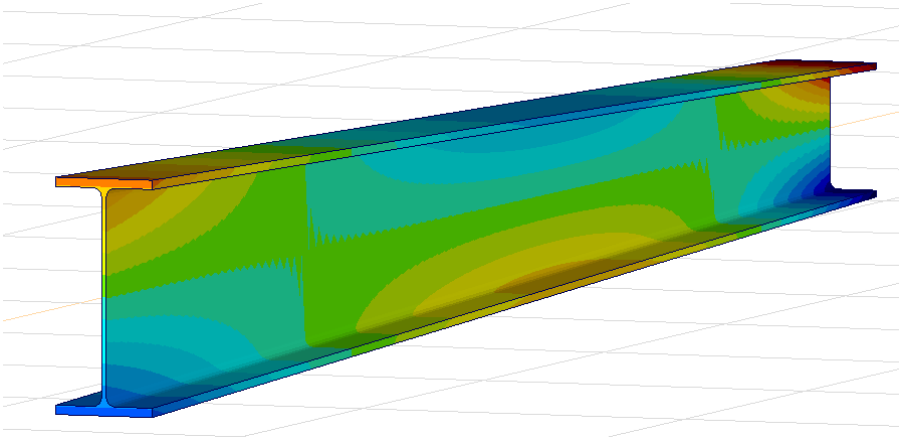
☞ **En sélectionnant l'enveloppe ou les combinaisons critiques, une seule des composantes min et max apparaîtra en fonction de la composante. Si les valeurs extrêmes sont situées dans une seule section transversale, vous verrez également les valeurs des autres composantes. Sinon, une * apparaîtra et l'emplacement de la section transversale sera le premier.**

Tableaux de résultats

Voir... *6.1.5. Tableaux de résultats*

Affichage du résultat sur un modèle solide

La distribution de la contrainte normale dans la section transversale de la poutre peut être affichée dans le mode d'affichage des résultats du modèle solide.



6.1.22. Contraintes des éléments surfaciques

Les composantes de contrainte suivantes sont calculées à chaque nœud de l'élément dans la fibre supérieure, centrale et inférieure :

Composante	Membrane	Plaque	Shell
s_{xx}	$s_{xx} = \frac{n_x}{t}$	$s_{xx} = \pm\frac{6}{t^2}m_x$	$s_{xx} = \frac{n_x}{t} \pm \frac{6}{t^2}m_x$
s_{yy}	$s_{yy} = \frac{n_y}{t}$	$s_{yy} = \pm\frac{6}{t^2}m_y$	$s_{yy} = \frac{n_x}{t} \pm \frac{6}{t^2}m_y$
s_{xy}	$s_{xy} = \frac{n_{xy}}{t}$	$s_{xy} = \pm\frac{6}{t^2}m_{xy}$	$s_{xy} = \frac{n_{xy}}{t} \pm \frac{6}{t^2}m_{xy}$
s_{xz}		$s_{xz} = \frac{3v_{xz}}{2t}$	$s_{xz} = \frac{3v_{xz}}{2t}$
s_{yz}		$s_{yz} = \frac{3v_{yz}}{2t}$	$s_{yz} = \frac{3v_{yz}}{2t}$
s_1	$s_1 = \frac{s_x + s_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{s_x - s_y}{2}\right)^2 + s_{xy}^2}$		
s_2	$s_2 = \frac{s_x + s_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{s_x - s_y}{2}\right)^2 + s_{xy}^2}$		
α_s	$\mathrm{tg}(2\alpha_s) = \frac{2s_{xy}}{s_x - s_y}$		

☞ **Dans le cas d'éléments de membrane de déformation plane $s_{zz} \neq 0$et est déterminé comme $s_{zz} = \mathbf{v} \cdot (\mathbf{s_{xx}} \mathbf{s_{yy}})$**

La contrainte de Von Mises

La contrainte de Von Mises est calculée :

$$s_0 = \sqrt{0.5\left[(s_{xx} - s_{yy})^2 + (s_{yy} - s_{zz})^2 + (s_{zz} - s_{xx})^2\right] + 3(s_{xy}^2 + s_{yz}^2 + s_{zx}^2)}$$

Autres composants de contrainte pour les matériaux non linéaires

NL élastique / Projet de matériau basé sur l'énergie de déformation

Un contrainte efficace

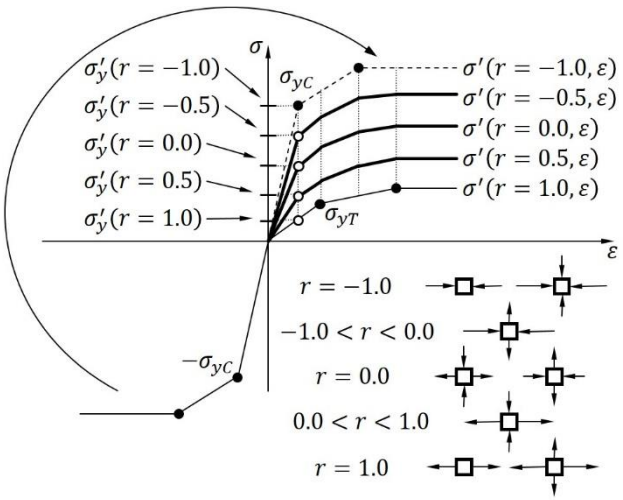
$$(NL)\ s_{eff} = \sqrt{s_{xx}^2 + s_{yy}^2 + s_{zz}^2 - 2\nu(s_{xx}s_{yy} + s_{xx}s_{zz} + s_{yy}s_{zz}) + 2(1+\nu)s_{xy}^2}$$

☞ **Seuls les contraintes normales s_{xx}, s_{yy}, s_{zz} et la contrainte de cisaillement s_{xy} affectent le comportement Matériellement non linéaire des éléments surfaciques. Les contraintes de cisaillement s_{xz} et s_{yz} n'ont aucun effet. Pour plus d'informations, voir les** *10 Références* **[5].**

Limite d'élasticité réelle
C'est la limite de la proportionnalité influencée par l'état de contrainte multiaxial réel:

$$(NL)\ f_y = \begin{cases} \sigma'_y(r) & \text{if } 0 \le s_{eff} \le \sigma'_y(r) \\ \sigma'(r, \varepsilon_{eff}) & \text{if } s_{eff} > \sigma'_y(r) \end{cases}$$

Où $\sigma'(r,\varepsilon)$ est le diagramme de contrainte-déformation interpolée relatif à l'état de contrainte multiaxiale réel, $\sigma'_y(r)$ est son point le plus proche de l'origine et ε_{eff} est la déformation efficace [(NLE) *eeff*, voir... *6.1.19. Déformations des éléments surfaciques aux points de contrainte*).



Où r est le rapport entre les composantes de traction et de compression de l'état de contrainte multiaxiale:

$$r = \begin{cases} -1 & if \quad \frac{I_1}{\sigma_{VM}} < -1 \\ \frac{I_1}{\sigma_{VM}} & if \quad -1 \le \frac{I_1}{\sigma_{VM}} \le 1 \\ 1 & if \quad \frac{I_1}{\sigma_{VM}} > 1 \end{cases}$$

Où I_1 est le premier invariant du tenseur de contrainte et σ_{VM} est l'équivalent de la contrainte de von Mises :

$$I_1 = s_{xx} + s_{yy} + s_{zz}$$

$$\sigma_{VM} = \sqrt{0.5\left[(s_{xx} - s_{yy})^2 + (s_{yy} - s_{zz})^2 + (s_{zz} - s_{xx})^2\right] + 3s_{xy}^2}$$

L'exploitation :

$$(NL)\ Utilization = \frac{(NL)\ s_{eff}}{(NL)\ f_y}$$

Matière plastique / projet de von Mises

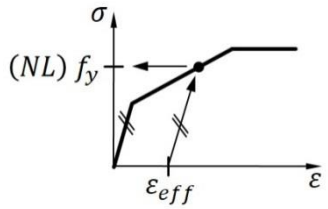
La contrainte efficace est calculée en fonction du critère d'élasticité :

$$(NL)\ s_{eff} = \sqrt{0.5\left[(s_{r,xx} - s_{r,yy})^2 + (s_{r,yy} - s_{r,zz})^2 + (s_{r,zz} - s_{r,xx})^2\right] + 3s_{r,xy}^2}$$

Où $s_{r,xx} = s_{xx} - b_{xx}$, $s_{r,yy} = s_{yy} - b_{yy}$, $s_{r,zz} = s_{zz} - b_{zz}$ et $s_{r,xy} = s_{xy} - b_{xy}$ sont les contraintes relatives par rapport au centre de la surface d'élasticité (voir... *3.1.15 Bibliothèque de matériaux*)

☞ **Seuls les contraintes normales s_{xx}, s_{yy}, s_{zz} et la contrainte de cisaillement s_{xy} affectent le comportement Matériellement non linéaire des éléments surfaciques. Les contraintes de cisaillement s_{xz} et s_{yz} n'ont aucun effet. [5]**

Limite d'élasticité réelle
Il s'agit de la limite d'élasticité influencée par l'effet de durcissement. Elle est calculée sur la base du diagramme contrainte-déformation du matériau (voir... *3.1.15 Bibliothèque de matériaux*).



où ε_{eff} est la déformation plastique efficace *(NLP) eeff*, voir... *6.1.19. Déformations des éléments surfaciques aux points de contrainte*

L'exploitation:

$$(NL)\ Utilization = \frac{(NL)\ s_{eff}}{(NL)\ f_y}$$

Matière plastique / projet de matériau Bresler-Pister

La *contrainte efficace* est définie par la distance euclidienne du point $[s_1, s_2, s_3]$ de l'origine dans l'espace des contraintes principales :

$$(NL)\ s_{eff} = \sqrt{s_1^2 + s_2^2 + s_3^2}$$

Où $[s_1, s_2, s_3]$ est la principale représentation de l'état de contrainte $[s_{xx}, s_{yy}, s_{zz}, s_{xy}]$.

☞ **Seuls les contraintes normales s_{xx}, s_{yy}, s_{zz} et la contrainte de cisaillement s_{xy} affectent le comportement Matériellement non linéaire des éléments surfaciques. Les contraintes de cisaillement s_{xz} et s_{yz} n'ont aucun effet. [5]**

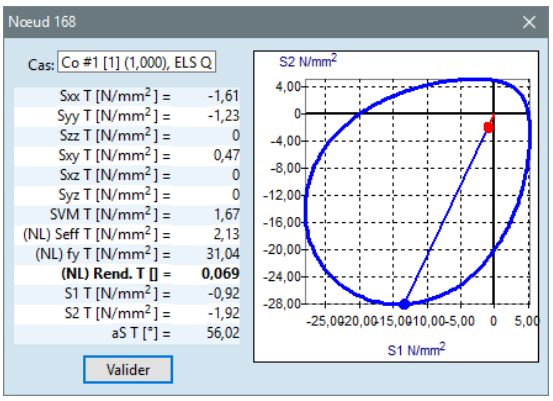
Limite d'élasticité réelle
Il s'agit de la limite d'élasticité influencée par l'état de contrainte

$$(NL)\ f_y = \sigma(s_1, s_2, s_3)$$

Où $\sigma(s_1, s_2, s_3)$ est le point sur la surface d'élasticité déterminé par l'état de contrainte réel (voir l'image ci-dessous et voir... *3.1.15 Bibliothèque de matériaux*).

L'exploitation:

$$(NL)\ Utilization = \frac{(NL)\ s_{eff}}{(NL)\ f_y}$$



Les valeurs de contrainte peuvent être affichées sous forme de diagramme, de diagramme de section transversale, d'isolignes ou d'isosurfaces.

Tableaux de résultats Voir... *6.1.5. Tableaux de résultats*

État de contrainte pour les matériaux non linéaires

Il s'agit d'un élément de résultat permettant d'identifier les régions tendues, comprimées et cisaillées de la structure. Sa valeur numérique est basée sur la valeur du *facteur dit de triaxialité de la contrainte,* qui est le rapport entre la composante hydrostatique et la composante de contrainte déviatrice.

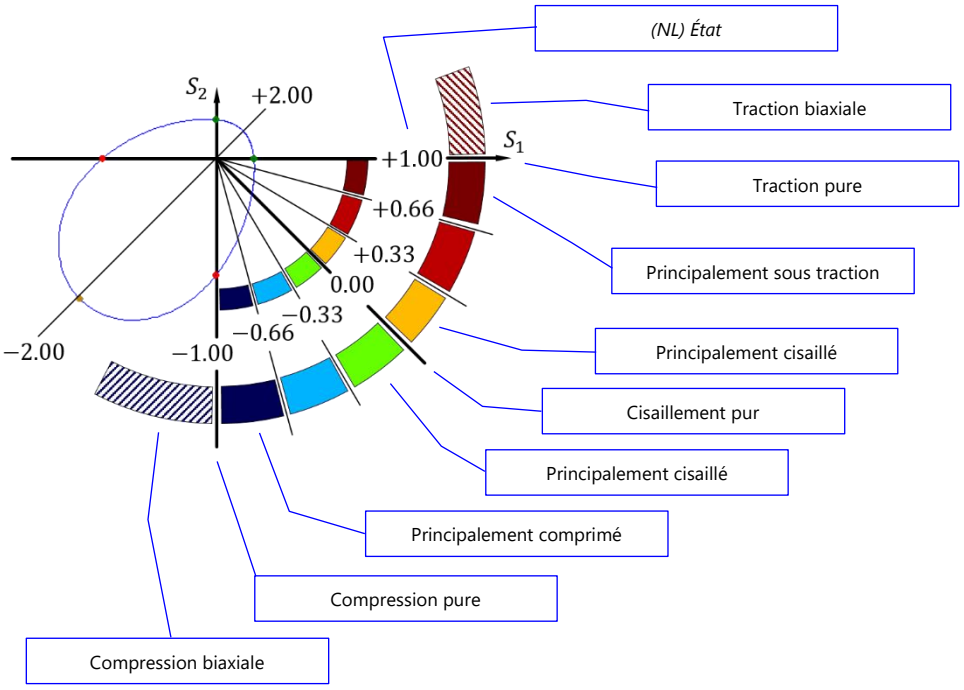
$$(NL)\ State = 3\frac{\sigma_m}{\sigma_{VM}}$$

Où σ_m est la contrainte hydrostatique ou moyenne et σ_{VM} est la caractéristique de contrainte équivalente de von Mises pour les contraintes déviatoires ou de cisaillement:

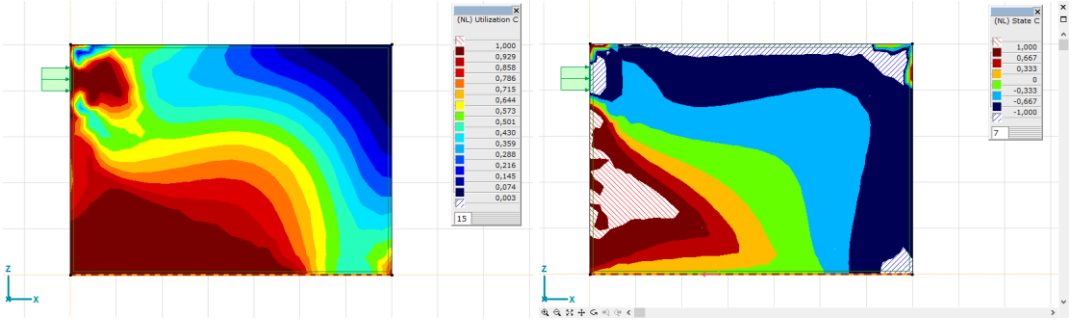
$$\sigma_m = \frac{s_{xx} + s_{yy} + s_{zz}}{3}$$

$$\sigma_{VM} = \sqrt{0.5\left[(s_{xx} - s_{yy})^2 + (s_{yy} - s_{zz})^2 + (s_{zz} - s_{xx})^2\right] + 3s_{xy}^2}$$

L'image suivante illustre l'état de contrainte sur le plan des contraintes principales S1-S2 avec les valeurs d'appartenance de l'*État (NL)*.



En utilisant Exploitation *(NL)* avec Etat *(NL)* , *on* peut déterminer les régions critiques et leur mode de défaillance.



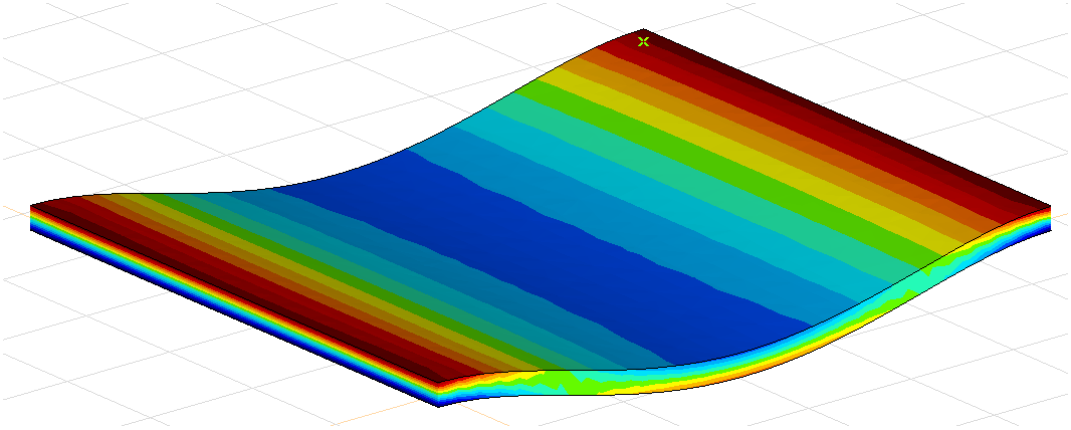
Les valeurs de contrainte peuvent être affichées sous forme de diagramme, de diagramme de section transversale, d'isolignes ou d'isosurfaces.

Tableaux de Résultats

Voir... *6.1.5. Tableaux de résultats*

Affichage du résultat sur un modèle solide

Les valeurs supérieures et inférieures des contraintes de surface peuvent être affichées simultanément dans le mode d'affichage des résultats du modèle solide.



6.1.23. Résultats non linéaires du ressort

Composantes en translation	Description
e,x T	Déformation dans la direction x locale
(NLP) e,x E	Déformation élastique dans la direction x locale
(NLP) e,x P	Déformation plastique dans la direction x locale
(NLP) eeff,x P	Déformation plastique efficace dans la direction x locale
(NLP) deeff,x P	Augmentation de la déformation plastique efficace dans la direction x locale (statique) Taux de déformation plastique efficace dans la direction x locale (dynamique)
R,x	Force du ressort dans la direction x locale
(NL) Fy,x	Force limite réelle dans la direction x locale
(NL) Util.,x	Exploitation dans le sens x local
...,y	... dans le sens y local
...,z	... dans la direction z locale
Composantes en rotation	**Description**
e,xx T	Déformation de rotation autour de l'axe x local
(NLP) e,xx E	Déformation élastique en rotation autour de l'axe x local
(NLP) e,xx P	Déformation plastique en rotation autour de l'axe x local
(NLP) eeff,xx P	Déformation plastique en rotation efficace autour de l'axe x local
(NLP) deeff,xx P	Augmentation de déformation plastique en rotation efficace autour de l'axe x local (statique) Taux de déformation plastique efficace en rotation autour de l'axe x local (dynamique)
R,xx	Moment autour de l'axe des x local
(NL) Mon,xx	Moment limite réel autour de l'axe x local
(NL) Util.,xx	Exploitation en rotation autour de l'axe x local
...,yy	... autour de l'axe local des y
...,zz	... sur l'axe z local

Comportement élastique NL

Force limite réelle, moment limite réel

Il s'agit de la résistance limite réelle influencée par le signe de la charge:

$$(NL)\ F_{y,x} = \begin{cases} F_{yT} & ha \quad R_x \geq 0 \\ F_{yC} & ha \quad R_x < 0 \end{cases}$$

où F_{yT} et F_{yC} sont les forces limites définies par l'utilisateur pour la tension et la compression (Voir... *3.1.17. Bibliothèque des caractéristiques de ressorts*).

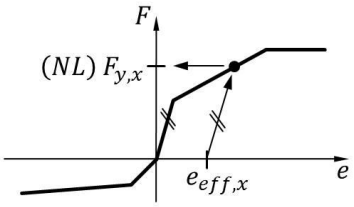
L'exploitation :

$$(NL)\ Exploitation_x = \left|\frac{R_x}{(NL)\ F_{y,x}}\right|$$

Comportement plastique

Force limite réelle, moment limite réel

Il s'agit de la résistance limite réelle influencée par l'effet de durcissement. Elle est calculée sur la base du diagramme force-déplacement du matériau (Voir... *3.1.17. Bibliothèque des caractéristiques de ressorts*):

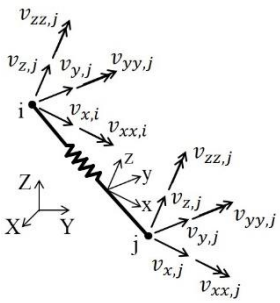


où $e_{eff,x}$ est la déformation plastique efficace ((NLP) *eeff,x P).*

L'exploitation :$(NL)\ exploitation_x = \left|\frac{R_x}{(NL)\ F_{y,x}}\right|$

6.1.24. Résultats de la dynamique du ressort

Composantes en translation	*Description*
(D) v,x	*Taux de déformation du ressort dans la direction x locale* $v_x = v_{x,j} - v_{x,i}$
R,x	*Force du ressort dans la direction x locale*
(D) R,x D	*Force d'amortissement dans la direction x locale*
(D) R,x S	*Force totale du ressort amortisseur dans la direction locale x* $(\mathrm{D})\ \mathrm{R,x\ S} = \mathrm{R,x} + (\mathrm{D})\ \mathrm{R,x\ D}$
...,y	*... dans le sens y local*
...,z	*... dans la direction z locale*



Composantes En rotation	*Description*
(D) v,xx	*Taux de déformation du ressort en rotation autour de l'axe x local* $v_{xx} = v_{xx,j} - v_{xx,i}$
R,xx	*Moment de ressort autour de l'axe des x local*
(D) R,xx D	*Moment d'amortissement autour de l'axe x local*
(D) R,xx S	*Moment total du ressort et de l'amortisseur dans la direction locale x* $(\mathrm{D})\ \mathrm{R,xx\ S} = \mathrm{R,xx} + (\mathrm{D})\ \mathrm{R,xx\ D}$
...,yy	*... autour de l'axe local des y*
...,zz	*... sur l'axe z local*

6.1.25. Lignes d'influence

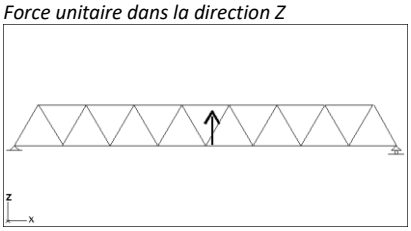
Affiche les lignes d'influence des forces internes correspondant aux forces unitaires PX, PY, PZ appliquées qui agissent dans le sens positif des axes de coordonnées globales. Une ordonnée de la ligne d'influence représente la valeur de la force interne respective qui se produit dans la section transversale respective causée par une force unitaire appliquée à la position de l'ordonnée.

Ferme

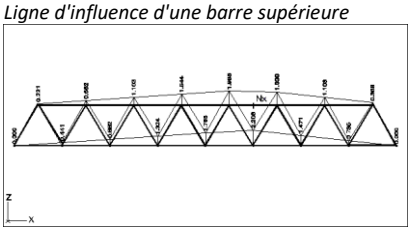
En cliquant sur une ferme, on peut voir la valeur maximale absolue en ordonnée des éléments.

Affichage des diagrammes linéaires de l'influence de la force axiale d'une structure en fermes :

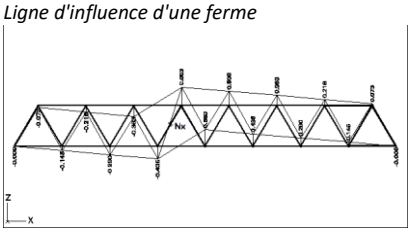
Force unitaire dans la direction Z



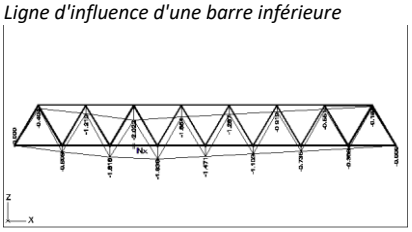
Ligne d'influence d'une barre supérieure



Ligne d'influence d'une ferme



Ligne d'influence d'une barre inférieure

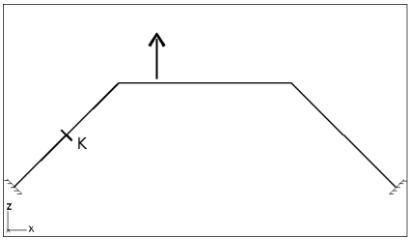


Poutre

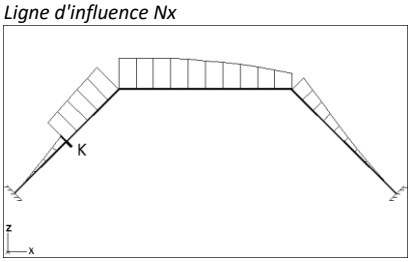
En cliquant sur une poutre, on peut voir la valeur maximale absolue en ordonnée des éléments et leur emplacement.

Affichage des diagrammes linéaires de l'influence des forces internes d'une ossature:

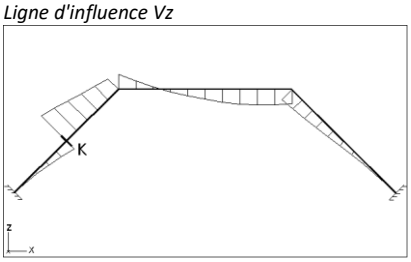
Force unitaire dans la direction Z



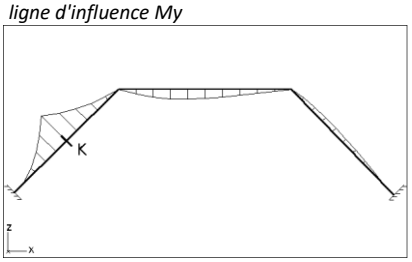
Ligne d'influence Nx



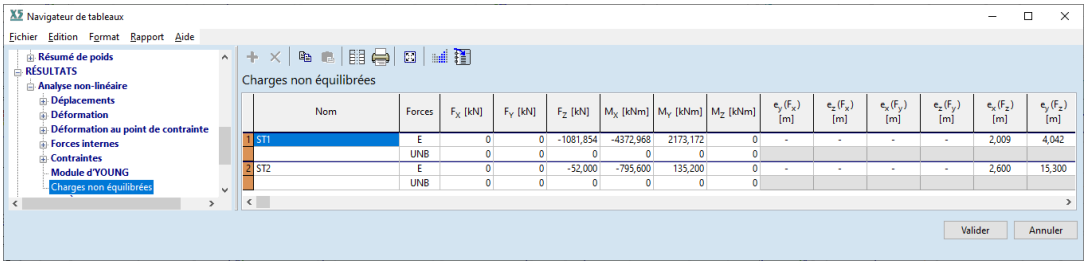
Ligne d'influence Vz



ligne d'influence My



6.1.26. Charges non équilibrées

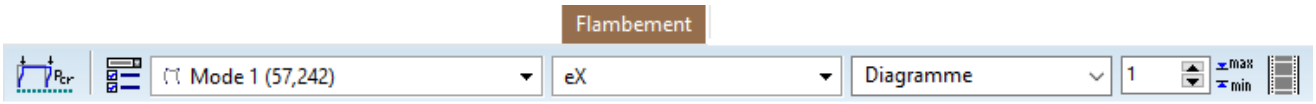


La résultante de toutes les charges externes dans le système global de coordonnées *(E)* est calculée pour chaque cas de charge.

Les charges non équilibrées pour chaque cas de charge sont également affichées *(UNB)*. Les charges non équilibrées n'apparaissent pas sur les appuis, par conséquent, s'il y a des composantes de charges non équilibrées non nulles, cela signifie généralement qu'une partie des charges externes sont supportées par des degrés de liberté limités et non par les appuis.

☞ **Il est recommandé de vérifier les charges non équilibrées après chaque analyse.**

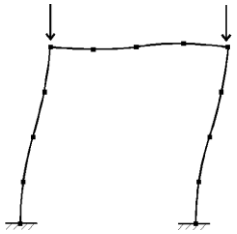
6.2. Flambement



Affiche les résultats d'une analyse de flambement (formes du mode de flambement et paramètres de charge critique).

Dans la fenêtre d'information, le texte suivant apparaît :
ncr le multiplicateur de charge critique
Erreur Erreur relative de la valeur propre
Itération le nombre d'itérations effectuées jusqu'à ce que la convergence soit réalisée

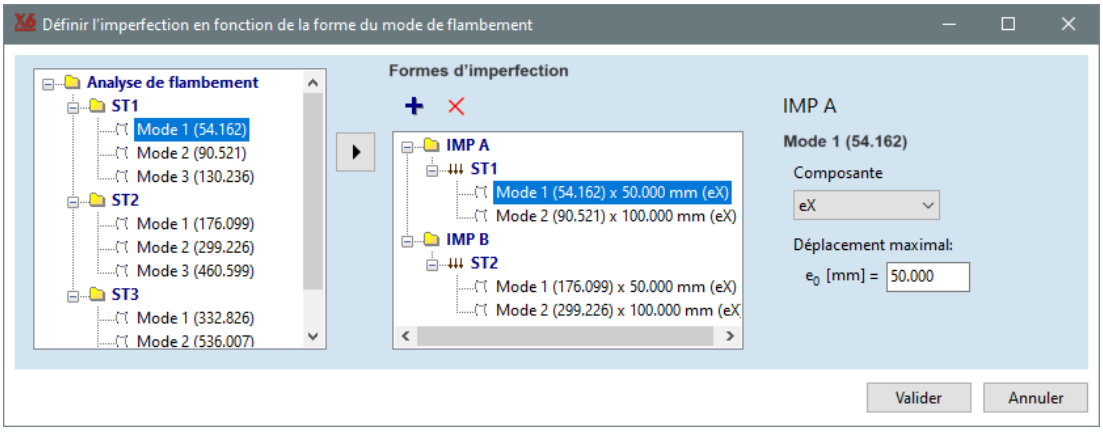
Le flambement d'une ossature :



☞ **AxisVM stocke les résultats des analyses de flambement correspondant à chaque cas.**

6.2.1. Création d'une géométrie imparfaite à partir de formes de flambement - module IMP

Le module permet de prendre en compte les imperfections en créant une géométrie imparfaite par la mise à l'échelle et la superposition de formes de flambage. Les effets de second ordre dus aux imperfections peuvent être pris en compte par le biais d'une analyse géométrique non linéaire exécutée avec une géométrie imparfaite.



L'arbre de gauche présente les formes de modes de flambage obtenues à partir de l'analyse de flambage. L'arbre du milieu affiche les formes d'imperfection construites à partir des formes de flambage disponibles. Les paramètres attribués à chaque forme de mode de flambage peuvent être définis sur le côté droit de la fenêtre.

Créer une nouvelle forme d'imperfection



Supprimer des formes ou des constituants imparfaits. En cas de sélection multiple, tous les éléments sélectionnés sont supprimés. La suppression d'un cas de charge supprime toutes les formes de flambage associées, la suppression d'une forme imparfaite supprime tous les cas de charge et les formes de flambage associés.



Utilisez le bouton *Ajouter* pour ajouter les formes de flambage sélectionnées dans l'arbre de gauche aux formes imparfaites sélectionnées au milieu. Plusieurs formes de flambage peuvent être sélectionnées. Si un cas de charge de flambage est sélectionné, toutes les formes associées sont copiées. Plusieurs imperfections ou leurs constituants peuvent être sélectionnés dans l'arbre du milieu. Les formes de flambage sélectionnées sont ajoutées à chaque imperfection affectée par la sélection. Les formes de flambage ajoutées sont automatiquement organisées en dossiers de cas de charge, et il n'est pas possible de les grouper ou de modifier leur ordre. Si une forme de flambage sélectionnée est déjà présente dans l'imperfection cible, elle n'est pas ajoutée à nouveau.

☞ **Les formes de flambage sélectionnées peuvent également être ajoutées en les faisant glisser sur une forme imparfaite. Les formes sélectionnées seront ajoutées uniquement à la cible de l'opération de glissement**.

Composant *Déplacement maximum*

Pour créer des imperfections, une composante ou une résultante de déplacement ou de rotation doit être sélectionnée. La mise à l'échelle et la superposition sont effectuées selon les formules suivantes : Un déplacement ou une rotation de mise à l'échelle doit être spécifié pour chaque forme de flambage. Les formes de flambage sont mises à l'échelle de sorte que la valeur absolue de la plus grande déformation dans la direction de la composante sélectionnée soit égale à la valeur absolue de la valeur d'échelle. Le signe de la valeur d'échelle peut être utilisé pour contrôler si la direction des déformations de la forme est identique ou opposée à la direction de la forme de flambage.

$$IMP = \sum_{(i)} c_i \cdot \eta_{cr,i}$$

Où IMP est la forme imparfaite compilée, $\eta_{cr,i}$ est la i[ème] forme de flambage, c_i est le facteur de la i[ème] forme de flambage :

$$c_i = \frac{e_{0,i}}{|\eta_{cr,i}|_{max}}$$

Où $e_{0,i}$ est le déplacement ou la rotation d'échelle, $|\eta_{cr,i}|_{max}$ est la valeur absolue de la déformation maximale dans la direction du composant sélectionné dans la i[ème] forme de flambage.

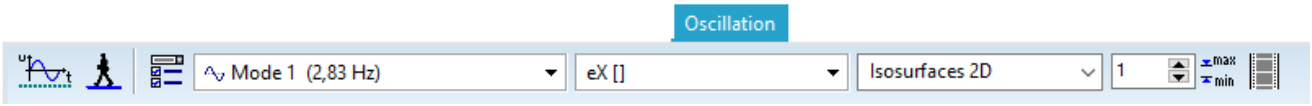
☞ **La composante et la valeur de mise à l'échelle entrées sont appliquées à toutes les formes sélectionnées.**

Les formes imparfaites construites sont ajoutées à la liste déroulante de l'onglet de flambage, de sorte qu'elles peuvent également être affichées dans la fenêtre principale.
La création et la suppression des formes imparfaites créent et suppriment automatiquement les cas de charge associés, mais ils peuvent également être édités parmi les cas de charge de la forme voir... *4.10.27 Imperfections géométriques basées sur des formes de flambement.)*

Si une forme de flambage est supprimée en raison de changements dans le modèle, les formes imparfaites qui l'utilisent comme constituant ne sont pas supprimées mais seulement invalidées. Après avoir relancé l'analyse de flambage, ces formes imparfaites sont automatiquement mises à jour à partir des nouvelles formes.

☞ **Les formes imparfaites mises à jour doivent être revues car l'ordre des modes de flambage peut avoir été modifié, les formes existantes peuvent avoir disparu ou de nouvelles formes peuvent s'être formées.**

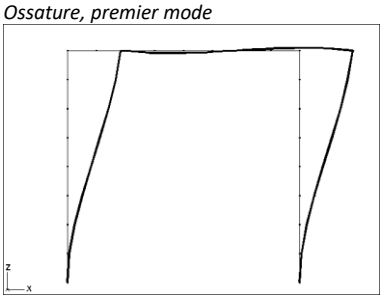
6.3. Oscillation



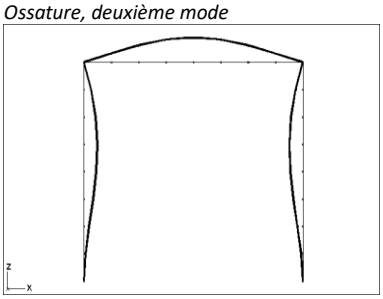
Affiche les résultats d'une analyse des oscillations (formes de mode et fréquences).
Vous devez spécifier le numéro de forme du mode.
Les formes du mode sont normalisées par rapport à la masse.

Affichage des formes de mode :

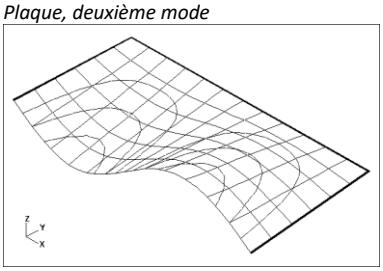
Ossature, premier mode



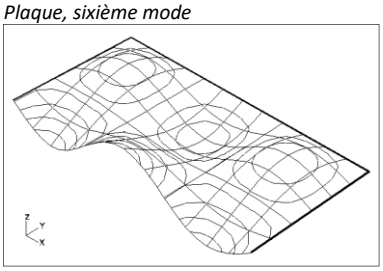
Ossature, deuxième mode



Plaque, deuxième mode



Plaque, sixième mode



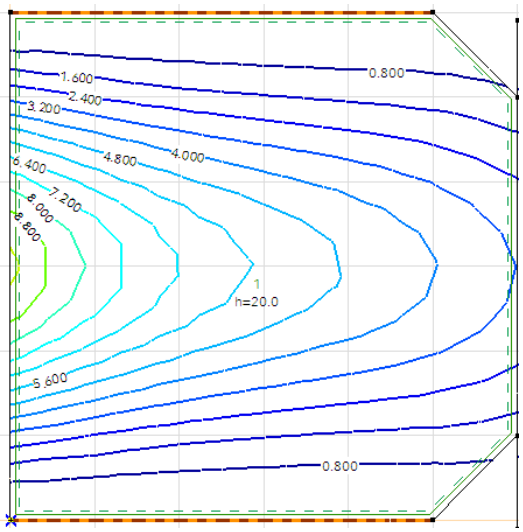
Dans la fenêtre d'information, les éléments suivants apparaissent :

f	Fréquence
ω	Fréquence circulaire
T	Période
Ev	Valeur propre
Erreur	Erreur relative de la valeur propre
Itération	Nombre d'itérations effectuées jusqu'à la réalisation de la convergence

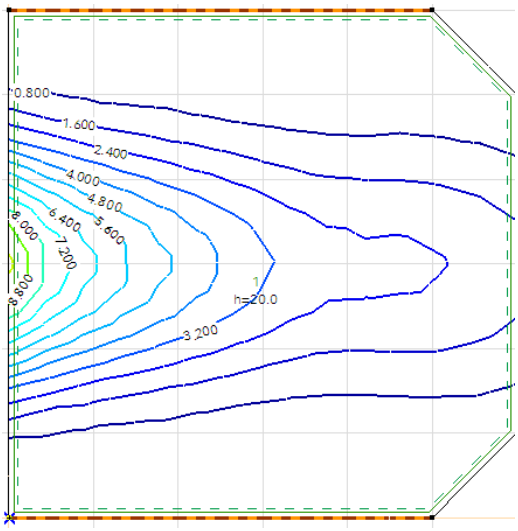
Affichage du facteur de réponse aux oscillations

☞ **AxisVM stocke les résultats des analyses de vibrations correspondant à chaque cas.**
Sélectionnez le *facteur de réponse aux oscillations à* la fin de la liste des modes d'oscillation. Les facteurs de réponse aux oscillations déterminés avec différentes méthodes d'excitation *(R plein, R extr., R auto)* peuvent être sélectionnés dans la liste des composantes du résultat.

Excitation complète d'une dalle *(R plein)*



Auto-excitation d'une dalle *(R self)*



Les valeurs affichées dans la fenêtre d'information sont :

Méthode d'étude :	*CCIP-016* ou *SCI P354*
ξ:	Amortissement [%].
N, L:	Nombre de pas [-] (*CCIP-016*), Longueur du chemin de promenade [m] (*SCI P354*)
m:	Masse du marcheur [kg]
$fp_{,min}$, $fp_{,max}$	Minimum et maximum de la fréquence du rythme sur dalles (*CCIP-016*, *SCI P354*), sur escaliers (*SCI P354*) [Hz]

Tableau des résultats

Voir... *6.1.5. Tableaux de résultats*

Masse activée

Le programme calcule la masse activée (certains articles utilisent le terme "masse modale") dans chacune des directions X, Y et Z, en utilisant les ordonnées des formes modales et les masses.
Pour les poutres :

$$M_{mod} = \mu \int_{l} \delta^2(x) \cdot dl$$

Pour les surfaces :

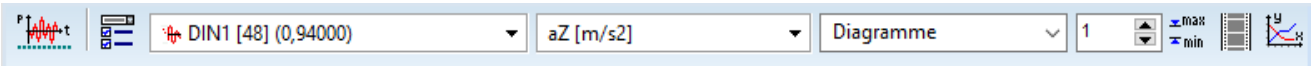
$$M_{mod} = \mu \int_{A} \delta^2(x,y) \cdot dA$$

où :
μ - la répartition des masses
δ - la forme du mode normalisé s'ordonne dans la direction donnée

Les valeurs de "masse activée" calculées pour chaque forme de mode et pour chaque direction sont affichées dans le tableau des fréquences/masses activées.
Les masses et les fréquences activées sont utiles pour déterminer et vérifier l'étude des sols en ce qui concerne les vibrations dues à la marche. Dans l'Eurocode, il y a peu de directives concernant l'étude ci-dessus. C'est pourquoi le projet de recherche parrainé par l'UE a élaboré la directive OS-RMS90 sur l'étude des sols en fonction des oscillations.
Vous trouverez de plus amples informations dans le fichier PDF suivant :

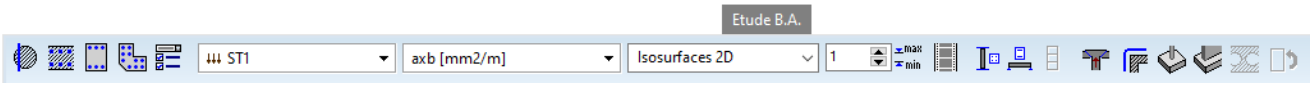
http://www.stahlbau.stb.rwth-aachen.de/projekte/2007/HIVOSS/docs/Guideline_Floors_EN02.pdf

6.4. Dynamique



Affiche les résultats d'une analyse dynamique.
Les paramètres et les modes d'affichage disponibles sont les mêmes que pour les résultats statiques. Voir... *6.1. Statique*.

6.5. Etude B.A.

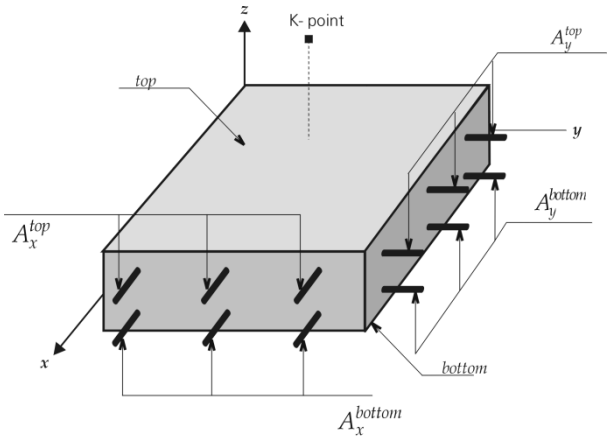


6.5.1. Paramètres des armatures surfaciques et calcul des armatures - module RC1

Norme

Eurocode 2: *EN 1992-1-1:2004*
DIN: *DIN 1045-1:2001-07*
SIA: *SIA 262:2013*

Les armatures de peau peuvent être calculées sur la base de l'Eurocode 2. Le calcul des armatures des membrane, des plaques et des coques est basé sur la 3ème condition de contrainte. Les directions d'armature sont les mêmes que les directions locales x et y. Le moment nominal et les résistances axiales correspondantes sont déterminés sur la base d'étude optimale de la direction restreinte.



Composantes des résultats

mxD, myD, nxD, nyD: forces d'étude
ax(b): surface d'armature calculée en face inférieure dans la direction x
ay(b): surface d'armature calculée en face inférieure dans la direction y
ax(h): surface d'armature calculée en face supérieure dans la direction x
ay(h): surface d'armature calculée en face supérieure dans la direction y
sx(b): espacement calculé des armatures face inférieure dans la direction x
sy(b): espacement calculé des armatures face inférieure dans la direction y
sx(h): espacement calculé des armatures dans la direction x supérieure
sy(h): espacement calculé des armatures dans la direction y supérieure
x(b): Armature réelle (appliquée) en face inférieure dans la direction x
y(b): Armature réelle (appliquée) en face inférieure dans la direction y
x(h): Armature réelle (appliquée) en face supérieure dans la direction x
y(h): Armature réelle (appliquée) en face supérieure dans la direction y
x(b)-ax(b): différence d'armature en face inférieure dans la direction x
y(b)-ay(b): différence d'armature en face inférieure dans le sens y
x(h)-ax(h): différence d'armature en face supérieure dans la direction x
y(h)-ay(h): différence d'armature en face supérieure dans la direction y
vEd: force de cisaillement spécifique résultante

avEd: direction de l'effort tranchant principal spécifique résultant par rapport à l'axe des x
vRd,c: résistance au cisaillement de la section transversale du béton
vRd,max: résistance maximale au cisaillement de la section transversale avec armatures d'effort tranchant
vEd/vRd,max: exploitation de l'effort tranchant de la section transversale du béton
vSz-vRd,c: différence entre la résistance à l'effort tranchant perpendiculaire résultante à la surface et la résistance à l'effort tranchant
wk(b) ouverture de la fissuration dans l'axe des armatures de la face inférieure
wk(h) ouverture de la fissuration dans l'axe des armatures de la face supérieure
ame(b) ouverture de la fissuration en face inférieure de la plaque
ame(h) ouverture de la fissuration en face supérieure de la plaque
aR(b) direction de la fissuration en face inférieure de la plaque
aR(h) direction de la fissuration en en face supérieure haut de la plaque

Affichage du résultat sur un modèle solide

Les valeurs supérieures et inférieures peuvent être affichées simultanément dans le mode d'affichage des résultats du *modèle solide*.

Paramètres d'armatures

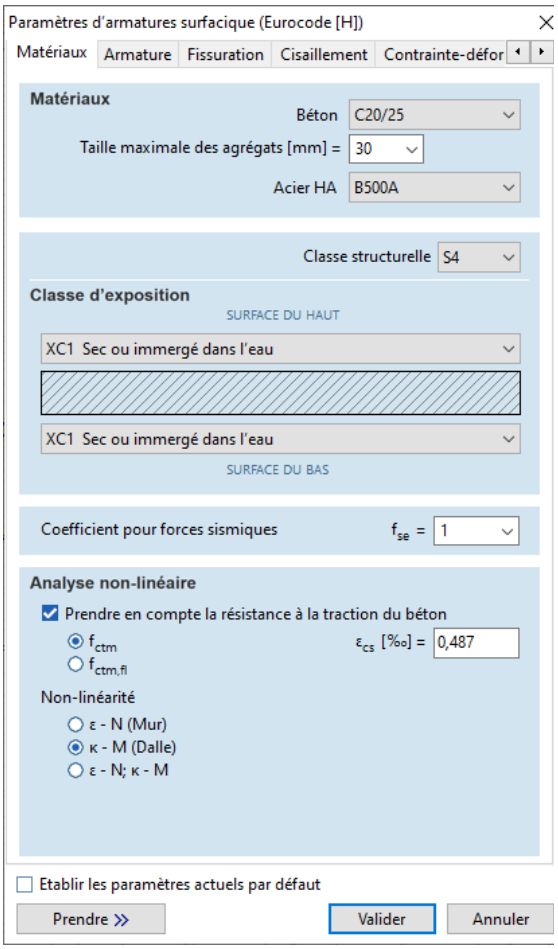
Dans l'étude des armatures de peau, les paramètres suivants doivent être attribués aux éléments finis:

Matériau

Le béton et les matériaux d'armature doivent être spécifiés. Le minimum requis d'enrobage du béton est déterminé par la classe structurelle et l'environnement au niveau des faces supérieures et inférieures de la surface

Le calcul de l'espacement minimal des aciers HA de tous les norme tient compte de la taille maximale globale. Le code suisse (SIA) vérifie également cette valeur pour l'enrobage minimale.

Vous pouvez voir le coefficient des forces sismiques à *4.10.24. Charges sismiques - module SE1.*



Analyse non linéaire

La valeur de certains paramètres pris en compte lors de l'analyse non linéaire des éléments surfacique (Voir... *6.5.6.Analyse non linéaire des surfaces en B.A.*) peut être fixée par l'utilisateur :

- En tenant compte de la résistance à la traction ou à la flexion du béton ;
- La déformation finale du béton due au retrait ;
- Type de comportement non linéaire dominant (mur, dalle ou coque)

Cette fonctionnalité est disponible pour les types de domaines suivants (voir... *4.9.6. Domaine*.)

- Domaines normaux,
- Domaines nervurés composites,
- Domaines nervurés paramétriques,

- Plaques trapézoïdales composites (si l'option Plaque trapézoïdale utilisée uniquement comme coffrage est cochée).

☞ **Dans le cas des murs, les moments de flexion, dans le cas des dalles, les forces de la membrane sont calculées de manière élastique.**

☞ **L'objectif de la prise en compte du comportement non linéaire dans l'analyse statique non linéaire est le calcul plus précis de la déflexion pour les éléments surfacique en béton par la vérification dans les états limites de service en tenant compte du comportement non linéaire (matériau et structure). La vérification des éléments en béton armé dans les états limites ultimes à l'aide de ce projet d'intégration des fibres n'est pas recommandée. Il est également important de noter que le présent projet ne peut pas être utilisé dans l'analyse par poussée afin de prendre en compte le comportement non linéaire des éléments en béton armé au lieu des rotules plastiques** (Voir... ***4.10.24*** *Charges sismiques - module SE1*) **car les projets de matériaux présentés ne prennent pas en compte la dégradation cyclique du béton et de la résistance/rigidité de l'acier, le flambement des aciers HA , etc.**

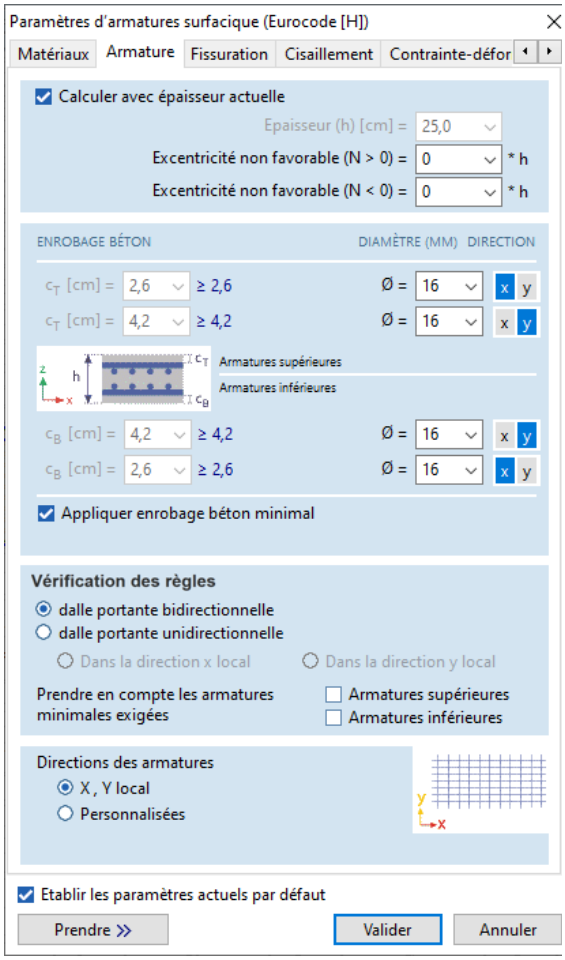
Armatures

Calculer avec épaisseur réelle:
Si cette option est activée, le programme calcule les armatures en utilisant l'épaisseur réelle (constante ou variable).
h est l'épaisseur totale utilisée dans le calcul, qui peut être différente de l'épaisseur réelle de la plaque.

Dans le cas de l'Eurocode 2, l'*excentricité non favorable* sera toujours ajoutée à la valeur réelle (calculée à partir des forces et moments normaux) pour augmenter la valeur absolue de l'excentricité.

L'enrobage béton peut être vérifiée ou les enrobages supérieure et inférieure du béton *cT* et *cB* peuvent être entrés (*c*'est-à-dire la distance minimale entre la surface de l'armature encastrée et la surface extérieure du béton) pour les couches d'armatures extérieures et intérieures séparément.

Les deux rangées du haut sous *Béton d'enrobage, Diamètre* et *Direction* représentent les aciers HA supérieurs (la 1ère rangée est la plus extérieure, la 2ème rangée est la plus intérieure), les deux rangées du bas représentent les aciers HA inférieures (la 3ème rangée est la plus intérieure, la 4ème rangée est la plus extérieure). Le schéma réel en vue *x-z* locale est affiché en conséquence.



Appliquer le béton d'enrobage minimal

Le programme détermine l'enrobage minimale de béton supérieure et inférieure de la classe d'environnement selon le code d'étude actuel.

Inclure l'armature minimale exigée

Le programme détermine les armatures minimales requises en haut et en bas en fonction du code d'étude actuel. Si la quantité d'armature calculée est inférieure à ces valeurs, le minimum requis est utilisé.

Règles de détail.

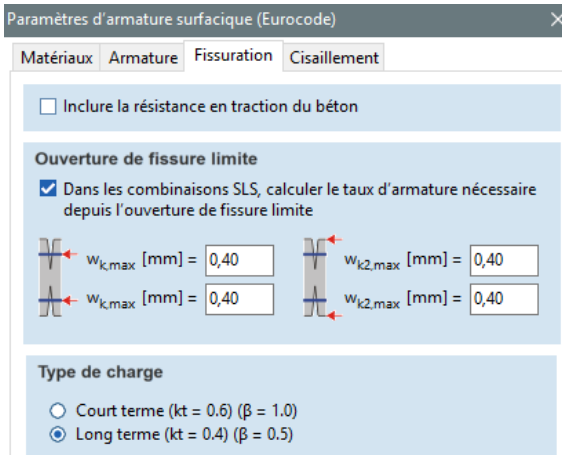
Dans ce panneau, vous pouvez prendre en compte le mode de transfert de charge lors du calcul de l'espacement minimal et maximal des aciers HA et le pourcentage minimum d'acier conformément au code d'étude et à l'annexe nationale correspondante. L'espacement des aciers HA n'est ajusté selon

les règles d'étude que si la case *Suivre les règles de disposition des aciers HA pour l'espacement* est cochée dans *Paramètres d'affichage des résultats / Paramètres divers* (voir... *6.1. Statique*).

Si la quantité calculée d'armature entraîne un espacement des aciers HA supérieur au maximum, le maximum est utilisé. Si l'espacement est inférieur au minimum, la dalle ne peut pas être renforcée.

Fissuration

Sur cet onglet, la durée de chargement peut être définie.
Ce paramètre est utilisé dans l'analyse de la fissuration.



Limitation de la largeur des fissures. Si elle est vérifiée, l'armature requise est calculée sur la base de la largeur de fissuration limite spécifiée dans les combinaisons ELS. La largeur limite de la fissuration peut être spécifiée au périmètre du béton *($wk2_{,max}$)* et au centre de l'armature *($wk_{,max}$)*.

Prendre en compte la résistance à la traction du béton

Si cette option est activée, le programme suppose que la contrainte dans le béton reste inférieure à la résistance à la traction du béton et ne calcule pas la largeur de la fissuration

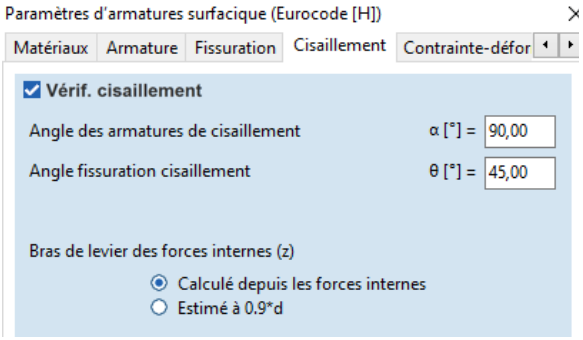
Calcul d'armature basé sur la largeur limite de fissuration

Dans les combinaisons de charges ELS, l'armature requise est calculée sur la base de la largeur limite de fissuration spécifiée par l'utilisateur. Si les paramètres réels de l'armature sont ajustés aux paramètres de l'armature du domaine (diamètres et couverture de béton identiques, tels que définis dans cette fenêtre), la largeur de fissuration calculée ne dépassera pas la valeur limite.

Dans le cas d'un cas de charge simple ou d'une combinaison de charges définie par l'utilisateur (non classée comme ELU ou ELS), l'armature requise est calculée en tenant compte des exigences ELU et ELS et la valeur la plus élevée est sélectionnée. Dans le cas d'une formule de combinaison auto critique (Voir... *6.1. Statique*), l'armature requise est calculée en tenant compte à la fois des exigences ELU (dans les combinaisons ELU uniquement) et ELS (le type de combinaison ELS appliqué dépend de la norme) et la valeur la plus élevée est indiquée.

Effort tranchant

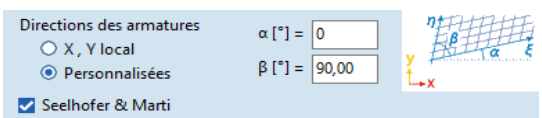
L'angle de l'armature à l'effort tranchant et de la fissuration à l'effort tranchant peut être défini pour le calcul de $V_{Rd,max}$ résistance à l'effort tranchant (Voir... *6.5.8. Calcul de la résistance à l'effort tranchant des armatures des plaques et des coques – module RC3*).
La vérification du cisaillement peut être désactivée en décochant la case dans le coin supérieur gauche du panneau.



Direction des armatures

L'armature requise peut être calculée en tenant compte des directions locales x/y ou de l'armature personnalisée. Si des directions d'armature personnalisées sont sélectionnées, les symboles ξ /η sont utilisés à la place de x/y pour identifier les directions d'armature. α est l'angle entre l'axe x local de la surface et la direction d'armature ξ, tandis que β fait référence à l'angle entre les deux (ξ et η) directions d'armature.
Il est également possible de définir un maillage de renfort orthogonal avec un angle personnalisé α (-360°<α<360°) et un renfort oblique (β≠90°). Les limites inférieures et supérieures de l'angle β sont de 45° et 135°.

Si la case SEELHOFER & MARTI est cochée, le logiciel prend en compte une condition supplémentaire de l'article technique de HANS SEELHOFER et PETER MARTI (*H. Seelhofer & P. Marti : Dimensionnement des plaques de béton*



armé en biais) par la vérification de l'étai en béton comprimé (voir... *6.5.1.3 Calcul des armatures obliques selon l'Eurocode 2 et la SIA 262*). Le logiciel prend toujours en compte les directives de l'annexe F de l'EN 1992-1-1 par la vérification de l'étai en béton en compression.

☞ **S'il existe au moins une surface renforcée de travers dans le projet, les annotations sont remplacées sur de nombreux dessins et tableaux. Dans ce cas, les symboles ξ /η sont utilisés à la place de x/y. Par exemple, ax(b) est remplacé par aξ(b) (si toutes les surfaces sont renforcées en biais) ou par a(x/ξ)(b) (s'il existe des surfaces renforcées en biais et orthogonalement).**

☞ **Dans le cas d'Airdeck et des éléments surfaciques à noyau creux, il n'est pas possible de calculer l'armature oblique nécessaire. Si l'élément surfacique Airdeck ou à âme creuse est inclus dans la sélection, le panneau des directions d'armature n'est pas visible.**

Quantité requise d'armatures dans les domaines

Le logiciel crée un résumé des quantités requises de ferraillage sous le titre *Quantité requise d'armature dans les domaines* (voir dans le navigateur de tableaux) pour les cas de charge, les combinaisons de charge, les enveloppes et les combinaisons critiques. Le contenu du tableau peut être trié en fonction des types d'éléments structurels (dalle, mur ou autre structure), du béton, des nuances d'acier d'armature, des paramètres des domaines et de la quantité spécifique et totale d'armature calculée. La colonne *Commentaire* affiche un avertissement si le calcul des armatures requis a échoué (par exemple, les armatures ne peuvent pas être calculé) ou si l'épaisseur du domaine est différente de l'épaisseur trouvée dans les paramètres des armatures
Le résumé communique des informations sur la quantité minimale et maximale de ferraillage requise. Le tableau ne reprend que les résultats des domaines qui sont dans les parties actives ou les domaines sélectionnés (si certains domaines sont sélectionnés).

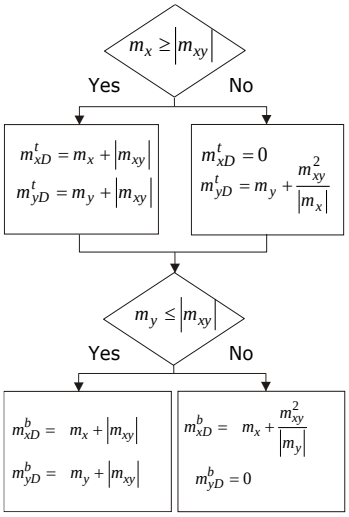
☞ **La quantité d'armature calculée ne contient pas les armatures supplémentaires qui provient du chevauchement des armatures, de la longueur d'ancrage nécessaire des armatures, des armatures droites et des aciers HA d'espacement !**

Pour l'interprétation de la quantité totale et spécifique d'armature, il faut tenir compte des éléments suivants :
Dans le cas de *dalles nervurées ou de dalles nervurées composites* (avec des nervures en béton), la quantité d'armature calculée comprend uniquement l'armature des dalles, et non celle des nervures.
Le volume de béton des domaines inclut le volume des nervures en béton si celles-ci sont logiques et non réelles. Dans le cas de nervures réelles, seul le volume de la dalle est pris en compte.
Dans le cas d'un tablier métallique trapézoïdal, en utilisant l'épaisseur réelle du domaine, le volume de béton présenté inclut le volume des nervures en béton, même si le hourdis trapézoïdal n'est utilisé que comme coffrage.
La définition d'une épaisseur individuelle pour le domaine lors de la définition des paramètres d'armature annule l'épaisseur réelle. Le volume de béton et la quantité d'armature sont calculés avec cette valeur comme une dalle de béton normale et solide. Le hourdis trapézoïdal est une exception : l'épaisseur individuelle signifie la hauteur totale du béton dans le hourdis trapézoïdal, le volume de béton est calculé en fonction de celle-ci.

6.5.1.1. Calcul des armatures orthogonales x/y selon l'Eurocode 2

Plaque

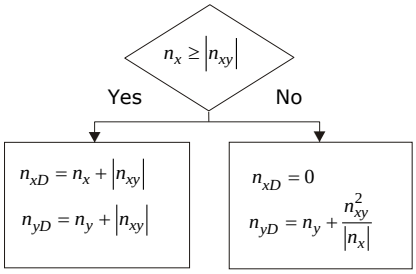
Si m_x, m_y, m_{xy} sont les forces internes en un point, alors les forces de moment nominal sont les suivantes:
Le moment optimal est : $\overset{\Delta m_2=0}{\underset{\Delta m_1=\min!}{}}\ m_x \geq m_y$



Résultats AxisVM calcule les armatures en traction et/ou en compression (pour les sections transversales doublement renforcées).

☞ **Le message d'erreur "La section transversale ne peut être conçue" apparaît si :**
La surface totale de la section transversale des armatures supérieures et inférieures, que ce soit dans les directions d'armature x ou y, est supérieure à la valeur limite de la surface d'armature maximale. Cette limite peut être définie dans la fenêtre Norme sous l'onglet Béton armé (voir... *3.3.7 Normes*).

Membrane Seules les membranes de contrainte planes peuvent être renforcées.
Si n_x, n_y, n_{xy} sont les forces internes en un point, alors les forces axiales nominales sont les suivantes :
La force axiale optimale est: $\begin{matrix}\Delta n_2 = 0 \\ \Delta n_1 = \min !\end{matrix}$ $n_y \geq n_x$



Résultats AxisVM calcule les armatures en traction ou en compression. Les armatures en compression sont calculées uniquement aux points où la résistance à la compression axiale de la section transversale sans les armatures est inférieure à la force axiale d'étude en compression.

Coque Si $n_x, n_y, n_{xy}, m_x, m_y, m_{xy}$ sont les forces internes en un point, les forces et moments axiaux d'étude sont établis sur la base des critères de force axiale optimale de réserve et de moment optimal de réserve qui ont été soulignés, au niveau de la description des armatures de la membrane et de la plaque.

Le programme calcule les armatures nécessaires en traction et en compression.

Résultats Les valeurs suivantes sont fournies comme résultats : *ax(h), ax(b), ay(h), ay(b).*
Elles représentent l'armature supérieur et inférieur calculé dans les directions *x* et *y.*

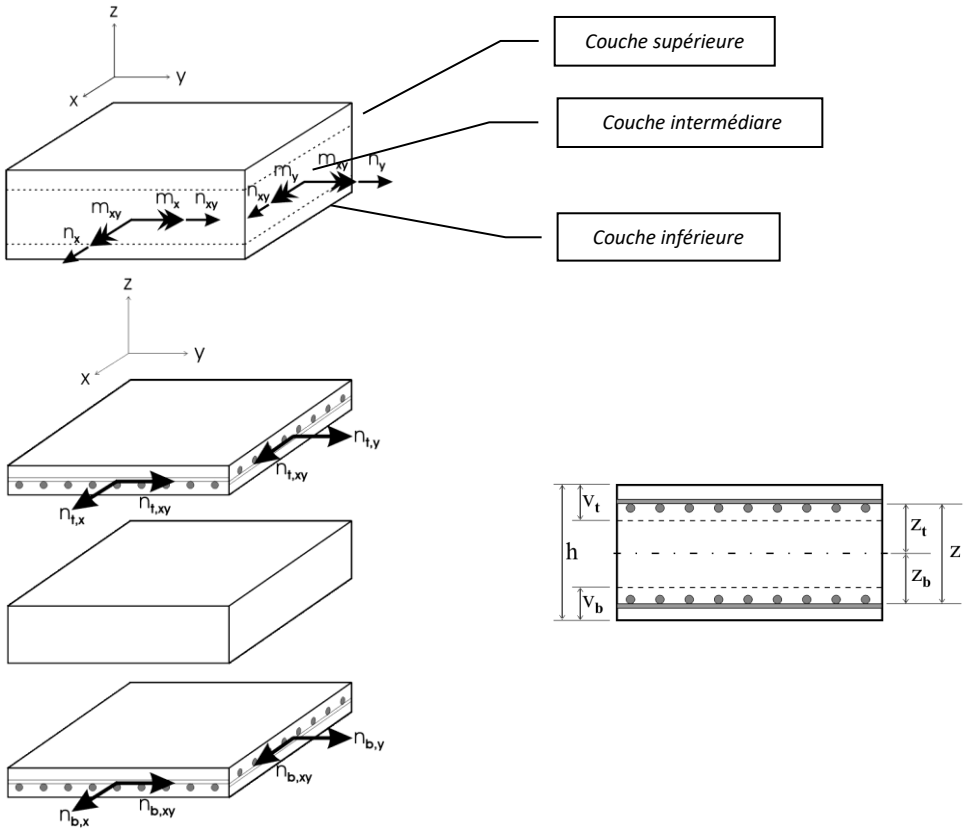
☞ **Le message d'erreur " La section transversale ne peut être conçue " apparaît si:**
La surface totale de la section transversale des armatures supérieures et inférieures, que ce soit dans les directions d'armature x ou y, est supérieure à la valeur limite de la surface d'armature maximale. Cette limite peut être définie dans la fenêtre Norme sous l'onglet Béton armé (voir... *3.3.7 Normes*).

Tableaux Les symboles suivants sont utilisés dans les tableaux :
(-) barre d'armature de compression
??? la section transversale ne peut pas être renforcée dans la direction correspondante

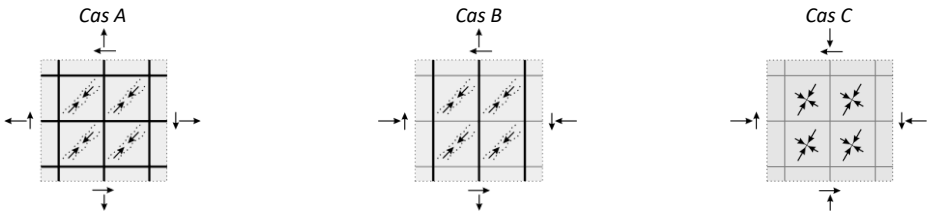
6.5.1.2. Calcul des armatures orthogonales x/y selon les normes DIN EN, DIN 1045-1 et SIA 262

Plaque, Membrane, Coque

L'armature des membranes, des plaques et des coques est calculée selon la méthode des trois couches. Les forces internes ($n_x, n_y, n_{xy}, m_x, m_y, m_{xy}$) sont calculés dans les directions perpendiculaires des armatures.
La surface est divisée en trois couches. Les forces membranaires pour les couches supérieure et inférieure sont calculées, puis les forces d'étude et la quantité d'armature nécessaire sont déterminées.



Outre le calcul des zones d'armature nécessaires, le béton est contrôlé en cisaillement et en compression selon les cas *A, B* et *C*. Le programme prend en compte la réduction de la résistance à la compression si une contrainte de traction apparaît dans le béton et que la contrainte de traction principale dépasse la résistance à la traction nominale du béton *(fctd)*.



Message d'erreur

Le message d'erreur " La section transversale ne peut être ferraillée " apparaît.

Si la zone comprimée du béton cède sous l'effet des forces de cisaillement.

Si la contrainte principale de compression est supérieure à f_{cd}.

$A_x > 0.04A_c$ Ou $A_y > 0.04A_c$où A_c est la surface de la section transversale du béton.

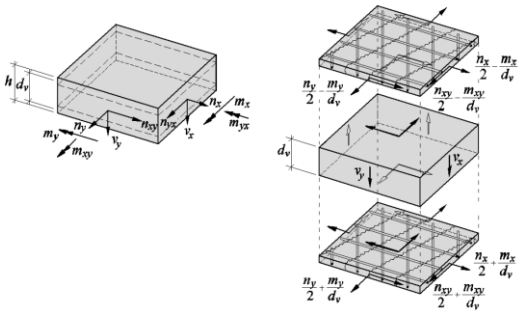
Tableaux

Les symboles suivants sont utilisés dans les tableaux :
(-) barre d'armature de compression
??? la section transversale ne peut pas être renforcée dans la direction correspondante
Aucun symbole n'apparaît lorsque les armatures de traction sont nécessaires.

6.5.1.3. Calcul des armatures obliques selon l'Eurocode 2 et la SIA 262

Les maillages d'armature orthogonales dont les directions d'armature diffèrent des axes locaux x et y de la surface et les maillages d'armature dont les directions d'armature sont arbitraires sont appelés armatures oblique et calculés comme décrit dans cette section transversale. Les symboles ξ et η sont utilisés à la place de x/y pour identifier les directions d'armature. α est l'angle entre l'axe x local de la surface et la direction d'armature ξ, tandis que β fait référence à l'angle entre les deux (ξ et η) directions d'armature.

Lors du calcul des armatures nécessaires, un modèle de sandwich à trois couches est utilisé. La méthodologie de calcul décrite dans l'article de PETER MARTI et HANS SEELHOFER est invoquée (H. Seelhofer & P. Marti : Étude des plaques de béton armé en biais). La méthodologie de calcul est identique pour les membranes, les plaques et les coques.



Référence : H. Seelhofer & P. Marti: Étude des plaques de béton armé en biais

Calcul Les couches supérieures et inférieures du sandwich sont toutes deux responsables de la résistance aux moments de flexion et aux forces de la membrane. La couche intérieure résiste aux forces de cisaillement.

Les forces membranaires et les moments de flexion sont décomposés en forces membranaires équivalentes dans le cas de la couche supérieure et de la couche inférieure, respectivement. Avant la décomposition, les forces internes sont transférées du système de coordonnées x-y dans un système de coordonnées orthogonales x'-y' où la direction x' est identique à la direction d'armature ξ.

- Couche inférieure:

$$n^b_{x'} = \frac{n_{x'}}{2} - \frac{m_{x'}}{d_v}$$
$$n^b_{y'} = \frac{n_{y'}}{2} - \frac{m_{y'}}{d_v}$$
$$n^b_{x'y'} = \frac{n_{x'y'}}{2} - \frac{m_{x'y'}}{d_v}$$

- Couche supérieure:

$$n^t_{x'} = \frac{n_{x'}}{2} + \frac{m_{x'}}{d_v}$$
$$n^t_{y'} = \frac{n_{y'}}{2} + \frac{m_{y'}}{d_v}$$
$$n^t_{x'y'} = \frac{n_{x'y'}}{2} + \frac{m_{x'y'}}{d_v}$$

Afin d'obtenir des armatures optimales, l'épaisseur des couches est modifiée de manière itérative. La limite inférieure de l'épaisseur des couches est de 5 mm, tandis que la limite supérieure est fixée à *H/2* (dans le cas de conditions de charge de type membrane, où *H est l*'épaisseur de la surface) ou *ξc0d* (dans le cas de conditions de charge de type plaque, où *d est* la profondeur effective du maillage d'armature). Le bras de levier d_v est calculé de la manière suivante :

$$d_v = min\left(d_b - \frac{t_t}{2}, d_t - \frac{t_b}{2}\right)$$

Où t_b, t_t et d_v sont respectivement l'épaisseur de la couche inférieure, l'épaisseur de la couche supérieure et le bras de levier

Les valeurs d_b et d_t sont les profondeurs effectives liées aux mailles d'armature inférieures et supérieures, respectivement. La profondeur effective est calculée sur la base des positions moyennes des renforts ξ et η.

Les contraintes dans les couches supérieures et inférieures sont calculées comme suit :

- Couche inférieure :

$$\sigma^b_{x'} = \frac{n^b_{x'}}{t_b}; \quad \sigma^b_{y'} = \frac{n^b_{y'}}{t_b}; \quad \tau^b_{x'y'} = \frac{n^b_{x'y'}}{t_b}$$

- Couche supérieure :

$$\sigma_{x'}^t = \frac{n_{x'}^t}{t_t}; \quad \sigma_{y'}^t = \frac{n_{y'}^t}{t_t}; \quad \tau_{x'y'}^t = \frac{n_{x'y'}^t}{t_t}$$

Ces contraintes sont transformées dans le système de coordonnées ξη (σ_ξ, σ_η, $\tau_{\xi\eta}$) de la manière suivante
(H. Seelhofer & P. Marti : Étude des plaques de béton armé en biais):

$$\sigma_\xi = \sigma_{x'} \sin\beta + \sigma_{y'} \cos\beta \cot\beta - 2\tau_{x'y'} \cos\beta$$
$$\sigma_\eta = \frac{\sigma_{y'}}{\sin\beta}$$
$$\tau_{\xi\eta} = \tau_{\eta\xi} = \tau_{x'y'} - \sigma_{y'} \cot\beta$$

Les armatures requises ξ / η sont calculées comme suit ($k=1$):

$$\rho_\xi = \frac{\frac{\sigma_\xi}{\sin\beta} + k\left|\frac{\tau_{\xi\eta}}{\sin\beta}\right|}{f_y} \qquad \rho_\eta = \frac{\frac{\sigma_\eta}{\sin\beta} + \frac{1}{k}\left|\frac{\tau_{\xi\eta}}{\sin\beta}\right|}{f_y}$$
$$A_{s,\xi} = \rho_\xi t B \qquad A_{s,\eta} = \rho_\eta t B$$

L'bielle béton en compression est contrôlée selon les directives de l'annexe F de la norme EN 1992-1-1 et selon les instructions du document de Seelhofer et Marti :

$$(\rho_\eta + \rho_\xi) f_y \le \nu f_{cd} + \sigma_{x'} + \sigma_{y'}$$

Le programme n'envisage une réduction de la résistance à la compression que si une contrainte de traction apparaît dans le béton et que la contrainte de traction principale dépasse la résistance à la traction nominale du béton (*fctd*).
Si la résistance de l'bielle béton n'est pas suffisante, l'épaisseur de la couche est augmentée. L'armature en compression est conçue en surface si la limite supérieure de l'épaisseur de la couche est atteinte et si le taux d'exploitation du béton est toujours supérieur à 1,0. Si les contraintes dans la couche et l'exploitation de l'bielle en béton sont faibles, l'épaisseur de la couche est réduite.

Message d'erreur

Le message d'erreur "La section transversale ne peut pas être ferraillée" apparaît dans les cas suivants.

- Si la résistance de l'bielle béton n'est pas suffisante avec une épaisseur de couche maximale, sans tenir compte de l'application d'une armature de compression.
- La surface totale de la section transversale des armatures supérieures et inférieures, que ce soit dans les directions d'armature ξ ou η, est supérieure à la valeur limite de la surface d'armature maximale. Cette limite peut être définie dans la fenêtre Norme sous l'onglet Béton armé. Voir... *3.3.7 Normes*

Résultats

Les valeurs suivantes sont fournies comme résultats : *αξa, αξf, αηa, αηf*

Tableaux

Les symboles suivants sont utilisés dans les tableaux :
(-) barre d'armature en compression
??? la section transversale ne peut pas être renforcée dans la direction correspondante

6.5.1.4. Calcul des armatures des dalles composites à hourdis en tôle trapézoïdale selon les normes Eurocode et SIA.

Les armatures des dalles composites à hourdis en tôle trapézoïdale peut être calculé selon les normes suivantes :
Eurocode 4: EN 1994-1-1:2004
SIA 264: SIA 262:2014

Les dalles composites à hourdis en tôle trapézoïdale peuvent être créées comme indiqué dans les sections précédentes du manuel (voir... *4.9.6.5 Hourdis en acier trapézoïdal*). La géométrie de la dalle composite doit satisfaire aux règles de détail de la norme sélectionnée. Le logiciel vérifie les règles de détail les plus importantes (selon la section 4.9.2. de l'Eurocode 4 et la section 7.2. de la SIA 264) et avertit l'utilisateur si la géométrie doit être modifiée.

☞ **La méthode de calcul présentée ne peut être utilisée que si le comportement en cisaillement longitudinal est ductile.**

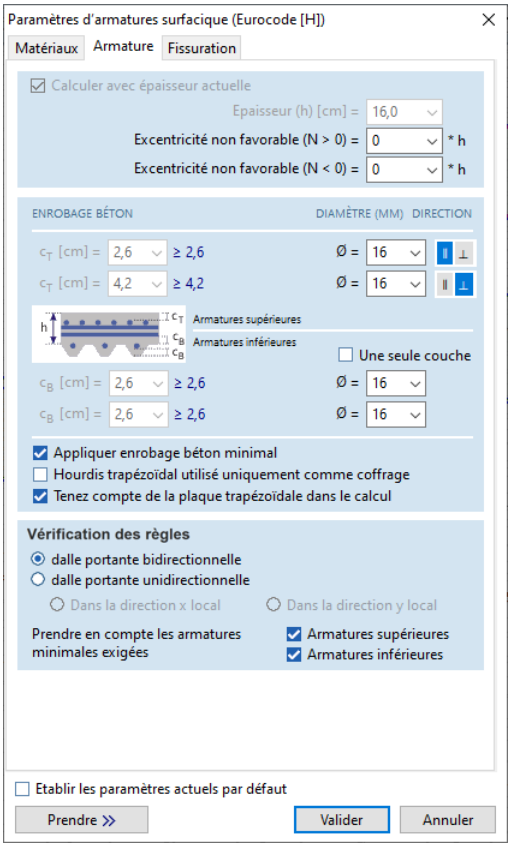
☞ **La méthode présentée est développée pour le calcul des armatures dans les dalles composites à hourdis en tôle trapézoïdales. La vérification des hourdis trapézoïdaux sans remplissage en béton ne fait pas partie du module.**

L'armature longitudinal peut être calculé avec la méthode présentée. Les armatures de cisaillement et la résistance au cisaillement ne sont pas calculées. En outre, si une charge concentrée importante est présente, la résistance au cisaillement par poinçonnement de la dalle doit être vérifiée. Ce module ne couvre pas la vérification du cisaillement de poinçonnement. Le module RC3 peut être utilisé pour la vérification de la résistance au poinçonnement si l'option *hourdis trapézoïdal utilisée uniquement comme coffrage* est cochée.

☞ **Ce calcul ne couvre pas la vérification en phase de construction ! Le poids du béton humide et des supports temporaires doit être pris en compte.**

Paramètres d'armatures surfacique

Dans le cas d'une dalle composite avec un hourdis en tôle trapézoïdale, la *fenêtre des paramètres des armatures surfaciques* devient légèrement différente de celle présentée dans les sections précédentes. La principale différence est que les paramètres doivent être définis en fonction des directions de renforcement parallèles aux nervures et perpendiculaires aux nervures de la dalle, respectivement, et non pas parallèles aux axes x et y. La direction principale du ferraillage ne peut être spécifiée que pour le ferraillage supérieur. L'enrobage du ferraillage inférieur perpendiculaire aux nervures doit être spécifié à partir du bord inférieur de la plaque de béton et non à partir du bord inférieur de la nervure. La petite figure dans la fenêtre aide à comprendre les directions des armatures et les enrobages du béton.



Étant donné que les paramètres sont définis en fonction des directions d'armature parallèles aux nervures et perpendiculaires aux nervures de la dalle, il est impossible de sélectionner en même temps des dalles avec des directions de nervures différentes. De même, les paramètres d'armature de surface ne peuvent pas être définis pour un ensemble de domaines de type différent simultanément si des dalles composites à hourdis en tôle trapézoïdale sont également sélectionnées.

Les caractéristiques suivantes ne sont prises en charge que si l'option *hourdis trapézoïdal utilisée uniquement comme coffrage* est cochée :

- calcul de la résistance au cisaillement et calcul des armatures
- calcul des armatures biais
- analyse non linéaire avec prise en compte des fissures et des armatures

Armatures en une seule couche

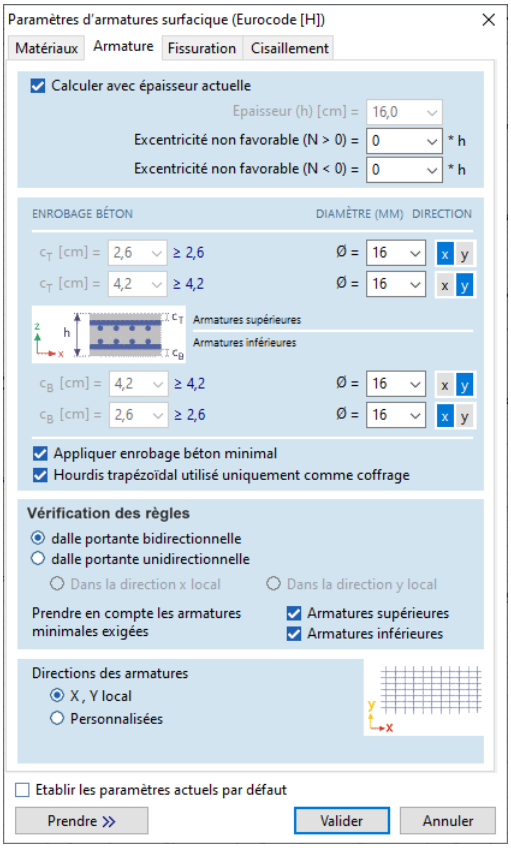
Si la case couche unique est cochée, seule une couche d'armature peut être donnée dans la plaque de béton et l'armature inférieure perpendiculaire aux nervures ne peut pas être définie.

Hourdis trapézoïdal utilisé uniquement comme coffrage

Si la case *Considérer le hourdis trapézoïdal dans le calcul* n'est pas cochée, les armatures longitudinales requises sont calculées en utilisant la même section de béton mais sans tenir compte du hourdis trapézoïdal dans les équations d'équilibre.

Considérer un hourdis trapézoïdal dans le calcul

Si la case *hourdis trapézoïdal utilisé uniquement comme coffrage* est cochée, le logiciel ne prend en compte que la plaque de béton supérieure dans les équations et il néglige les nervures et le hourdis trapézoïdal. Dans ce cas, les paramètres de ferraillage et les enrobages de béton peuvent être définis en fonction des directions x/y du ferraillage.



Les fonctionnalités suivantes sont disponibles pour une dalle composite avec hourdis trapézoïdal uniquement si la case hourdis *trapézoïdal utilisé uniquement comme coffrage* est cochée (seule la plaque de béton supérieure est prise en compte):

- Vérification du poinçonnement (voir... *6.5.13 Analyse de poinçonnement - module RC3*),
- calcul de la résistance au cisaillement et de l'armature de cisaillement (voir... *6.5.8 Calcul de la résistance à l'effort tranchant des armatures des plaques et des coques*) ,
- le calcul du ferraillage en biais (voir... *6.5.1.3 Calcul des armatures obliques selon l'Eurocode 2 et la SIA 262)* l'analyse non linéaire avec la prise en compte des fissures et des armatures (voir.. *6.5.5 Analyse non linéaire des éléments de poutres et de poteaux en B.A.*)

Calcul de la largeur de la fissure

Dans le cas de dalles composites avec hourdis trapézoïdal, la largeur de fissure limite ne peut pas être indiquée sur le panneau *Fissuration*. Indépendamment de l'état de la case à cocher *hourdis trapézoïdal utilisée uniquement comme coffrage*, la largeur de fissure est calculée uniquement pour le bord supérieur de la plaque de béton. Les détails du calcul de la largeur des fissures se trouvent dans la section suivante (voir...*6.5.7 Fissuration*) de fissure sont calculées parallèlement aux nervures et perpendiculairement aux nervures. Si la case hourdis trapézoïdal utilisé uniquement comme coffrage est cochée, le logiciel calcule la largeur des fissures selon les directions des contraintes principales comme pour une dalle conventionnelle.

Calcul des armatures longitudinales

Les dalles composites avec hourdis trapézoïdal sont conçues principalement comme des dalles unidirectionnelles sans la présence de forces de membrane. Lors du calcul de l'armature longitudinale requise, le logiciel ne tient pas compte des forces de membrane dans la dalle.
Les forces membranaires sont généralement dues à des problèmes de modélisation, et une attention particulière doit être accordée à la définition des conditions aux limites.

Perpendiculaire aux nervures

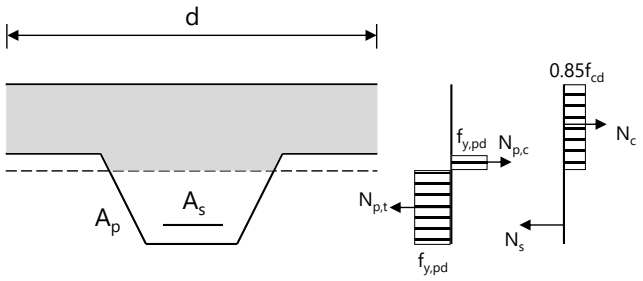
Le calcul du ferraillage longitudinal requis perpendiculairement aux nervures est identique au calcul du ferraillage pour les dalles régulières (voir... *6.5.1.1 Calcul des armatures orthogonales x/y selon l'Eurocode 2* et *6.5.1.2 Calcul des armatures orthogonales x/y selon les normes DIN EN, DIN 1045-1 et SIA 262*). Les moments de flexion de conception des armatures sont calculés de la même manière que les moments de flexion mx, my et mxy.
Un moment de flexion de conception positif et négatif (mxD, myD) peut être calculé pour la même position en raison de la présence d'un moment de torsion considérable (mxy). Si la case Single layer est cochée, le ferraillage longitudinal est calculé pour la couche unique à partir des moments de flexion positifs et négatifs, respectivement.

Parallèle aux nervures (bord inférieur en traction)

Le modèle et les équations suivants sont utilisés pour le calcul du ferraillage longitudinal parallèle aux nervures. La largeur de la section de référence est d.

Les contraintes dans le béton, dans l'armature et dans le hourdis trapézoïdal sont calculées en fonction de la position de l'axe neutre plastique. Les parties du hourdis trapézoïdal en acier peuvent être en compression ou en tension en fonction de la position de l'axe neutre plastique. L'effet du flambage local des parties comprimées de la tôle est pris en compte en utilisant des largeurs effectives.

Si la case *Considérer le hourdis trapézoïdal dans le calcul* n'est pas cochée, le hourdis trapézoïdal en acier est négligée dans les équations.



L'équation d'équilibre et la résistance à la flexion sont formulées comme suit:

$$0.85 f_{cd} A_c = A_s f_{y,d} + (A_{p,t} - A_{p,c}) f_{yp,d}$$

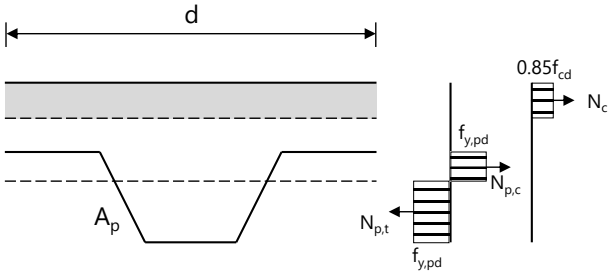
$$M_{pl,Rd} = A_s f_{y,d} \left(z_s - \frac{x_c}{2}\right) + A_{p,t} f_{yp,d} \left(z_{p,t} - \frac{x_c}{2}\right) - A_{p,c} f_{yp,d} \left(z_{p,c} - \frac{x_c}{2}\right)$$

Si des armatures longitudinales de compression sont nécessaires, les composantes représentant les forces dans les armatures de compression sont ajoutées aux équations.

Étapes du calcul de l'armature requise :

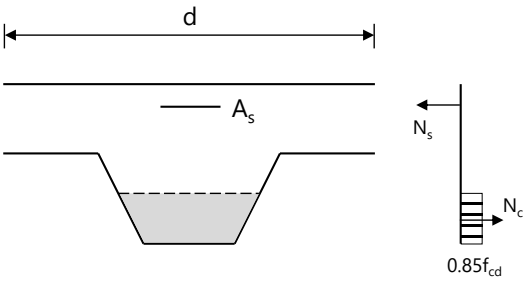
- La résistance à la flexion plastique de la dalle composite est calculée sans armature supplémentaire. Si la résistance de la dalle est adéquate après comparaison avec le moment de flexion de conception, aucun renforcement supplémentaire n'est requis et l'algorithme s'arrête.
- Dans les cas où $M_{pl,Rd} < M_{Ed}$, un renforcement supplémentaire est nécessaire. Tout d'abord, la position de l'axe neutre plastique est comparée à x_{c0}:
  - $x_c < x_{c0}$: La quantité de renforcement longitudinal et la résistance à la flexion plastique sont calculées en utilisant la hauteur x_{c0} de la zone de compression (c'est la limite supérieure de la zone de compression où le renforcement de tension est encore à l'état plastique).
    - $M_{Ed} < M_{pl,0,Rd}$: Aucune armature de compression n'est nécessaire. La quantité exacte d'armature de tension requise est trouvée par itération.
    - $M_{Ed} > M_{pl,0,Rd}$: Une armature de compression supplémentaire est nécessaire, calculée à partir de la différence des moments de flexion $\Delta M = M_{Ed} - M_{pl,0,Rd}$. L'armature de traction est calculée à partir des équations d'équilibre $x_c = x_{c0}$.
  - $\mathrm{x_c} > \mathrm{x_{c0}}$: Un renforcement supplémentaire en compression est appliqué itérativement tant qu'une des conditions suivantes est remplie $\mathrm{M_{pl,Rd}} > \mathrm{M_{Ed}}$ or $\mathrm{x_c} = \mathrm{x_{c0}}$. Dans le premier cas, aucune armature supplémentaire n'est requise, seulement l'armature de compression calculée. Dans le second cas, les armatures de traction requises sont calculées à partir de la différence des moments de flexion $\Delta \mathrm{M} = \mathrm{M_{Ed}} - \mathrm{M_{pl,0,Rd}}$. La valeur exacte des armatures de compression est calculée à partir des équations d'équilibre $\mathrm{x_c} = \mathrm{x_{c0}}$

L'efficacité de la connexion de cisaillement doit être considérée par le calcul de la position de l'axe neutre plastique si η < 1. Dans ce cas, nous avons deux axes neutres, un pour le béton et les armatures longitudinales et un pour le hourdis trapézoïdal. L'équation d'équilibre est écrite deux fois afin d'obtenir la position de ces axes. La contribution du hourdis trapézoïdal est multipliée par η dans le premier cas et la contribution du béton et des armatures est multipliée par η dans le second cas.
Ensuite, les contraintes dans le béton et dans l'armature sont calculées en utilisant le premier axe neutre, mais les contraintes dans le hourdis trapézoïdal sont calculées en utilisant le deuxième axe neutre.



Parallèle aux nervures (bord supérieur en traction)

Dans ce cas, la contribution du hourdis trapézoïdal est négligée.



L'équation d'équilibre et la résistance à la flexion sont formulées comme suit:

$$0.85 f_{cd} A_c = A_s f_{y,d}$$

$$M_{pl,Rd} = A_s f_{y,d} \left(z_s - \frac{x_c}{2} \right)$$

Si des armatures longitudinales de compression sont nécessaires, les composantes représentant les forces dans les armatures de compression sont ajoutées aux équations.

Étapes du calcul du ferraillage requis:

- x_{c0}hauteur de la zone de compression et la résistance à la flexion $M_{pl,0,Rd}$ sont calculées en premier.
  - $M_{Ed} < M_{pl,0,Rd}$: Aucune armature de compression n'est nécessaire. La hauteur exacte de la zone de compression et la quantité d'armature de traction requise sont trouvées par itération.
  - $M_{Ed} > M_{pl,0,Rd}$: Une armature de compression supplémentaire est requise qui est calculée à partir de la différence des moments de flexion $\Delta M = M_{Ed} - M_{pl,0,Rd}$. L'armature de traction est calculée à partir des équations d'équilibre $x_c = x_{c0}$.

Note

☞ **Le logiciel convertit les armatures requises calculées pour une largeur de référence de 1 mètre, l'unité des valeurs d'armatures présentées est donc mm2/m, etc.**

☞ **Le logiciel calcule et affiche les armatures requises dans les nervures pour l'élément situé sous la position de la souris si le composant de résultat de l'armature inférieure calculée, qui est parallèle aux nervures, est sélectionnée**

6.5.2. Armatures réelles

Armatures réel



Permet de mettre en place l'armature réelle à des domaines ou des éléments surfaciques. L'analyse de la fissuration ne peut être effectuée que pour les éléments où des armatures réelles ont été appliquées. En utilisant l'armature réelle, vous pouvez effectuer une analyse de la déflexion non linéaire des plaques.

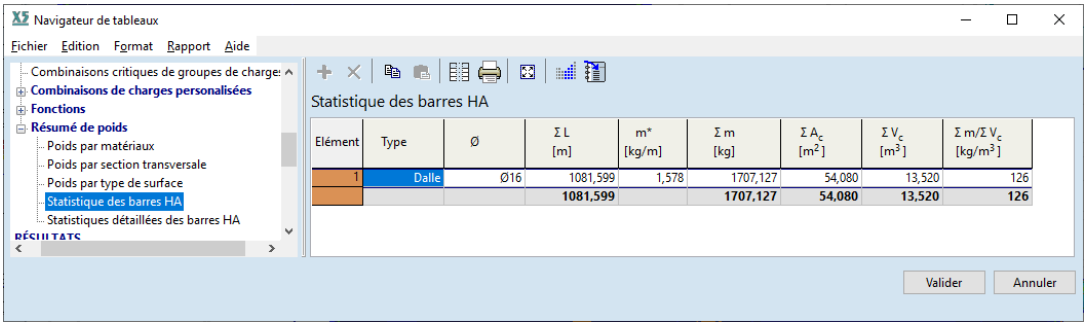
Il y a deux façons de définir l'armature réelle :

1.) sélectionnez les éléments surfacique / domaines puis cliquez sur le bouton de la barre d'outils pour spécifier l'armature réelle

2.) cliquez sur le bouton sans sélection, spécifiez l'armature réelle puis dessinez des armatures de domaines indépendants du maillage ou attribuez l'armature réelle aux domaines.

Statistiques sur les aciers HA

La surface réelle, les armatures de poutres et de poteaux peuvent être vérifiés en affichant les *statistiques des barres HA* dans la section transversale *Résumé de poids du navigateur de tableaux*. Ce tableau indique la longueur et la masse totales des aciers HA ainsi que la surface et le volume totaux de béton armé par diamètre d'aciers HA

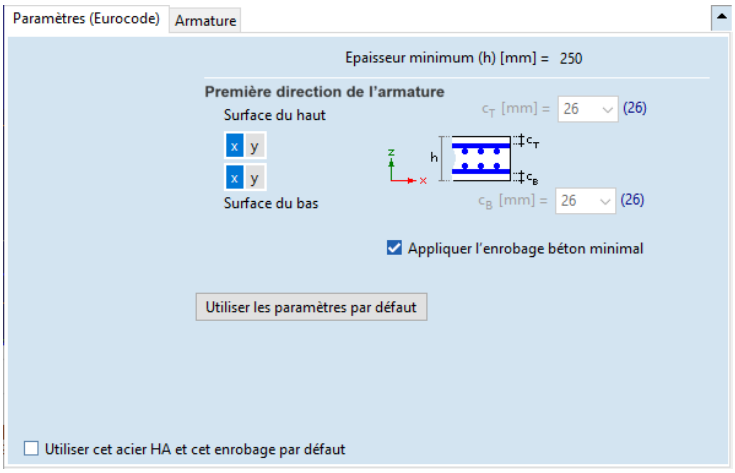


6.5.2.1. Armatures des éléments surfaciques et des domaines



Paramètres

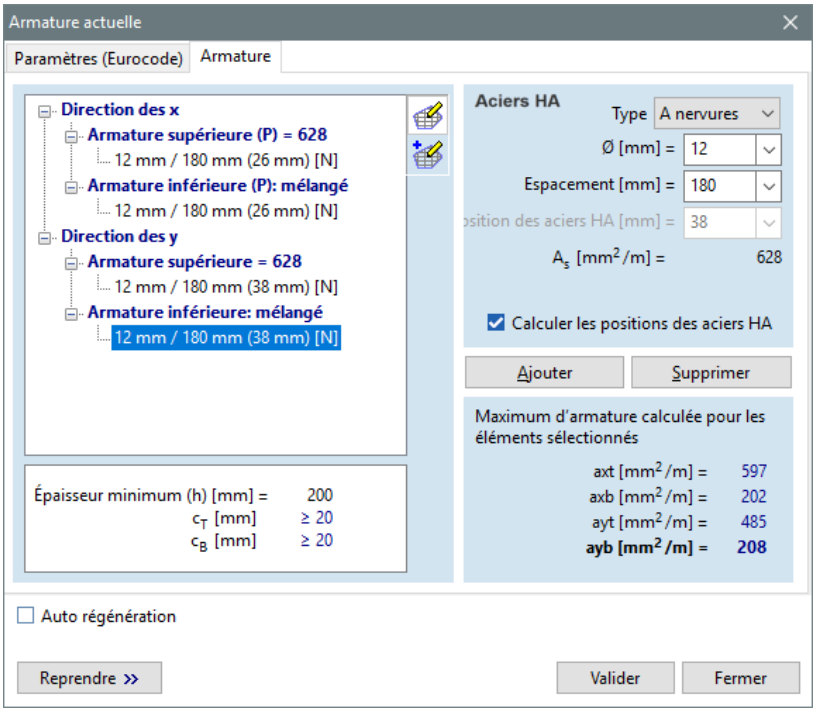
Le premier onglet affiche les paramètres requis par le code d'étude pour le calcul de la fissuration.
L'enrobage réel de béton et les directions primaires peuvent être différentes de celles utilisées pour déterminer la quantité d'armature requise (voir... *6.5.1. Paramètres des armatures surfaciques et calcul des armatures - module RC1*).
La modification de ces valeurs n'écrase pas les paramètres d'armatures surfaciques



Épaisseur Minimum.

Epaisseur Minimum. Affiche l'épaisseur minimale saisie comme paramètre d'armature surfacique pour les éléments sélectionnés, et non l'épaisseur minimale des éléments.

Armature

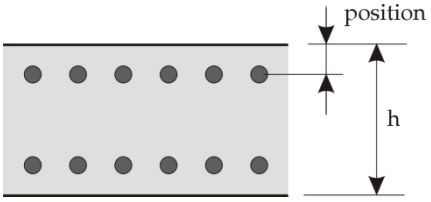


Ajouter et supprimer

Les armatures appliquées sont montrées dans une vue arborescente sur la gauche. En sélectionnant une une armature, vous pouvez modifier ses paramètres dans la partie droite. La modification des valeurs met à jour l'arbre. En sélectionnant un emplacement (par exemple Direction x / armatures supérieures), vous pouvez définir une nouvelle armature sur le côté droit et l'ajouter.

Utilisez le bouton *Supprimer* (ou la touche **[Suppr]**) pour supprimer une armature ou le bouton *Ajouter* (ou la touche **[Ins])** pour ajouter une armature à un groupe. Si vous sélectionnez un nœud de l'arborescence, le bouton *Supprimer* (ou la touche **[Suppr])** supprime toutes les armatures sous ce nœud. Le bouton *Ajouter* (ou la touche **[Ins])** ajoutera une armature au groupe correspondant.
Calculer les *positions des aciers HA* fixe les positions des aciers HA en fonction de l'enrobage réel du béton et des directions primaires.

☞ **La position de l'acier HA est définie comme la distance entre le nu extérieur du béton et l'axe de l'armature.**



Lors de la modification d'un domaine d'armature existant, deux méthodes sont disponibles :



Écraser

Une nouvelle armature remplace celle qui existe déjà.



Ajouter

Une nouvelle armature est ajoutée à celle qui existe déjà

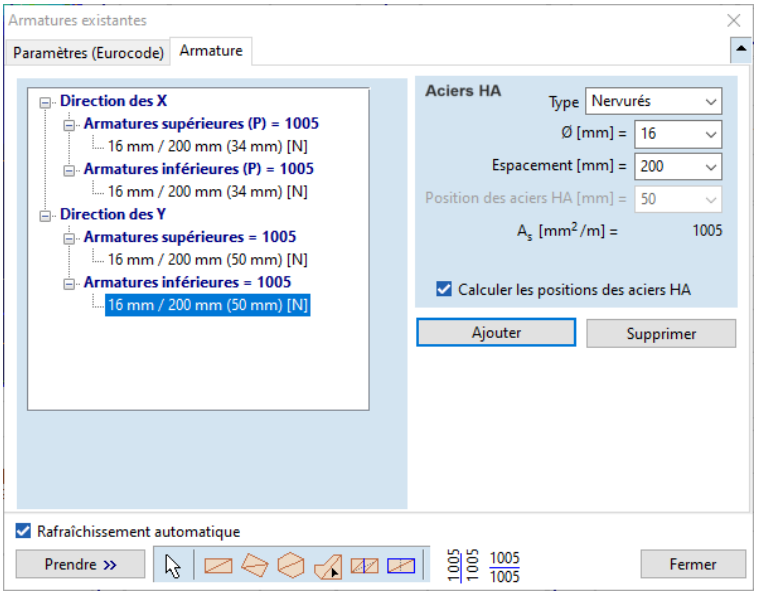
Rafraîchissement automatique

Si cette option est cochée, le changement d'armatures met immédiatement le dessin à jour

☞ **Les dalles composites à hourdis en tôle trapézoïdale ne peuvent pas être sélectionnées avec des dalles normales ou d'autres types de dalles. Si des dalles composites à hourdis en tôle trapézoïdale et d'autres types de dalles sont présents dans le modèle, le type de domaine doit être sélectionné avant l'ouverture de la fenêtre. Le domaine de référence doit être sélectionné si plusieurs dalles composites à hourdis en tôle trapézoïdale sont sélectionnées, mais que les principaux paramètres géométriques diffèrent. Dans le cas des dalles composites à hourdis en tôle trapézoïdale, les armatures réelles doivent être définies selon les directions de renforcement parallèles aux nervures et perpendiculaires aux nervures de la dalle.**

6.5.2.2. Armatures indépendantes des mailles

Pour définir l'armature indépendante du maillage, il faut d'abord définir les paramètres et le schéma d'armature, puis dessiner des domaines d'armature rectangulaires ou polygonaux ou appliquer l'armature à des domaines entiers.
Si aucune surface ou aucun domaine n'est sélectionné, un clic sur le bouton de la barre d'outils affiche ce dialogue. L'armature peut être éditée de la même manière que ci-dessus.



La barre d'outils inférieure peut être utilisée pour contrôler la façon dont l'armature est placée sur la structure. Il est également possible de définir une armature indépendante du maillage.



Affiche la barre d'outils de sélection pour sélectionner des domaines existants ou des domaines d'armature. L'armature actuelle est appliquée lorsque la sélection est terminée.



Possibilité de dessiner des domaines d'armature rectangulaires.



Possibilité de dessiner des domaines d'armature rectangulaires obliques.



Possibilité de dessiner des domaines d'armature polygonaux.



Possibilité d'appliquer une armature aux domaines existants en cliquant simplement sur ceux-ci.

L'armature n'est appliquée que lorsque les domaines d'armature tombent sur des éléments ou des domaines surfaciques.

Le dialogue peut être réduit à une barre d'outils. Cliquer sur l'icône en forme de triangle dans le coin supérieur droit permet de réduire ou d'ouvrir la boîte de dialogue. Les quantités d'armature spécifiées sont affichées sous forme de symboles. Les quantités d'*armatures* supérieures et inférieures sont écrites le long d'une ligne verticale. Les quantités d'armature *x* supérieures et inférieures sont écrites sur une ligne horizontale.



Les icônes de la barre d'outils restent les mêmes.

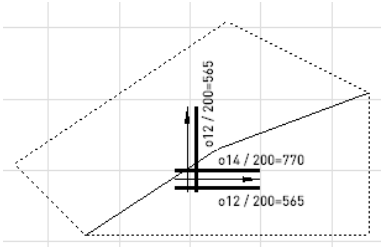
L'armature n'est appliquée que lorsque les domaines d'armatures tombent sur des éléments ou des domaines surfaciques.



Les contours des domaines d'armature sont identifiés par le curseur. Cliquer sur les domaines d'armature permet d'apporter des modifications à l'armature. **[Maj]** + cliquer permet de sélectionner plusieurs domaines d'armature.

Cliquer sur un des domaines sélectionnés permet de modifier plusieurs domaines d'armature. C'est la même méthode que celle utilisée pour les éléments ou les charges indépendantes du maillage.

Les domaines d'armature indépendants des mailles sont affichés sous forme de contours constitués linéaires brunes en pointillés. Un symbole indiquant les quantités d'armature supérieur et inférieur dans les directions *x(ξ)* et *y(η)* apparaît au centre. Le point central est relié à deux sommets du polygone de domaine par des lignes brunes continues.



Rafraîchissement automatique Met à jour le dessin immédiatement lorsque l'armature change.

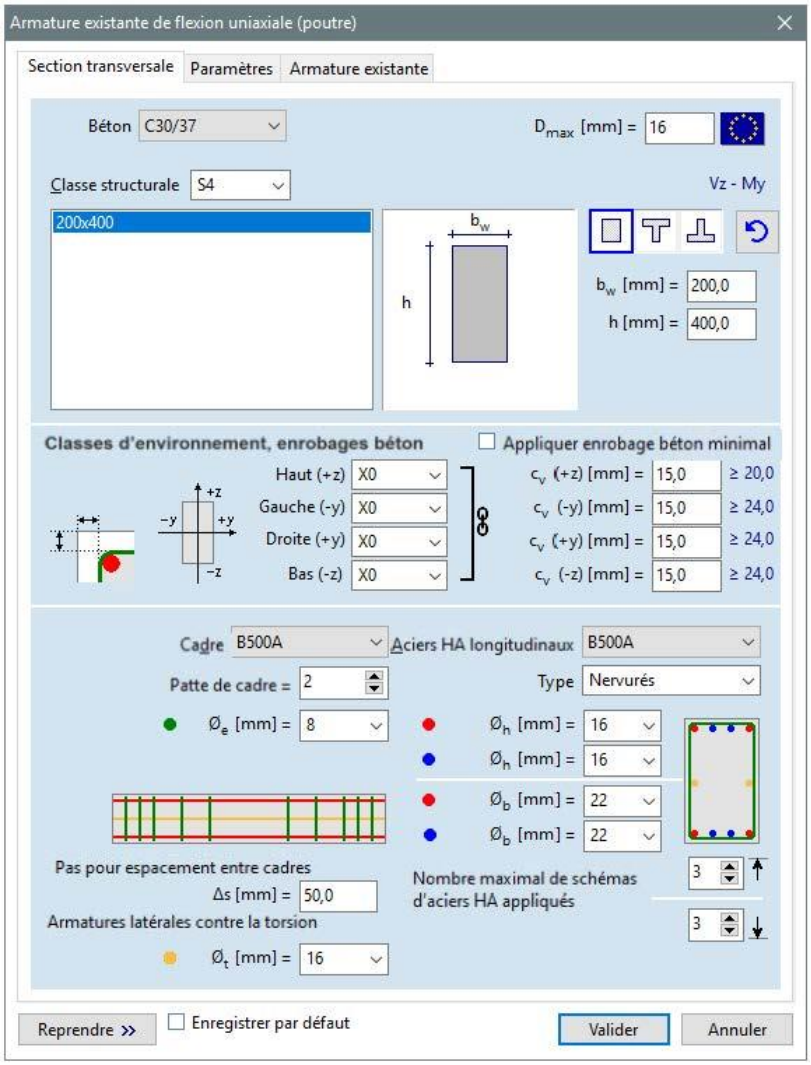
6.5.3. Paramètres d'armatures de flexion uni-axiale (poutre)

Les paramètres d'armatures des poutres et les armatures réelles des poutres peuvent être attribués aux nervures et aux poutres en béton sans avoir à effectuer l'étude et la vérification des armatures des poutres. Les paramètres d'étude des armatures de poutre peuvent être différents pour chaque élément fini. Pour sélectionner uniquement une partie d'un élément de structure, cochez l'option suivante : *Paramètres / Préférences / Edition / Activer la sélection des éléments finis sur les lignes.*

☞ ***Le dialogue des paramètres d'armatures de la poutre est adapté pour définir les paramètres d'armatures contre la flexion uniaxiale. Cela peut être fait pour les éléments verticaux également.***

L'étude des armatures de la poutre (détermination de la quantité d'armature nécessaire et vérification de celle-ci, voir... *6.5.11. Étude de l'armature des poutres - module RC2*) utilise ces paramètres.

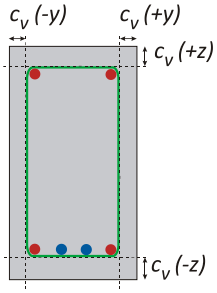
Section transversale



La liste contient toutes les sections transversales étudiées de poutres trouvées dans la sélection. Les paramètres géométriques de l'élément de liste sélectionné sont affichés et peuvent être modifiés. Les modifications n'entraîneront pas de recalcul des forces, donc les dimensions des sections transversales ne doivent pas être modifiées, sauf si cela est vraiment nécessaire.
Il est également possible de déroger à la règle concernant la qualité du béton. La classe structurelle et la taille maximale des granulats *(Dmax)* doivent être saisies.

☞ **Après avoir modifié les dimensions de la section transversale, il est recommandé de modifier la section transversale réelle de l'élément et de recalculer le projet.**

Classe d'Environnement Enrobage béton



Les classes d'environnement et les enrobages béton doivent être spécifiées sur les quatre côtés de la poutre *(+z, -y, +y, -z)*.
L'enrobage béton est la distance la plus faible entre les cadres et la surface extérieure du béton. L'enrobage minimum calculé selon le code d'étude à partir des classes d'environnement et d'autres paramètres est affichée en bleu à la fin de chaque ligne. La vérification de l'*application d'un enrobage minimal* permet *de* définir les champs d'édition de C_V à la valeur calculée. En cliquant sur le symbole de lien à droite des classes d'environnement, la même classe d'environnement sera définie de tous les côtés.

Paramètres d'armatures

Les paramètres (c'est-à-dire le matériau, le diamètre, etc.) des cadres (vert) et des armatures de torsion (jaune) peuvent être saisis sur le côté gauche, les paramètres des armatures d'angle (rouge) et des autres armatures longitudinales (bleu) sur le côté droit.

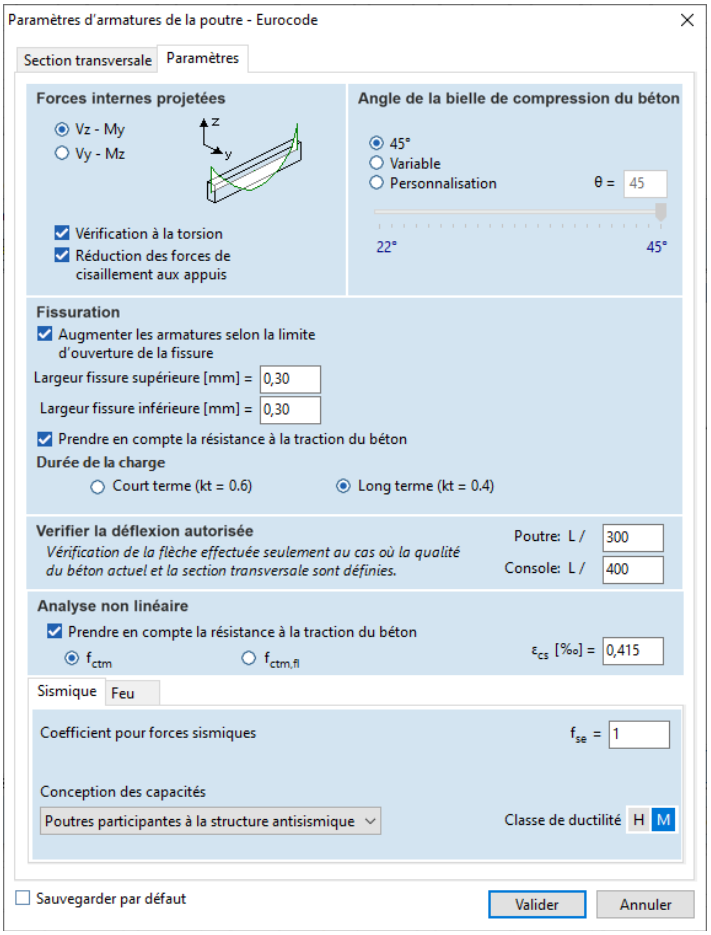
Øt est le diamètre des armatures supérieures, Øb est le même pour les armatures inférieures, Øt est le diamètre des armatures latérales contre la torsion. Si vous cochez la case *Utiliser cette nuance d'acier HA et de cadre en valeur par défaut* la nuance de l'acier HA et du cadre est fixée à la valeur définie dans la boîte de dialogue.

☞ **Les paramètres suivants ne sont utilisés que pour l'étude des armatures des poutres. Le programme distribue les cadres et les aciers HA en fonction de ces paramètres avant de vérifier l'armature calculée.**

Etape de l'espacement des cadres : Les valeurs d'espacement entre les cadres calculées seront des multiples entiers de la taille de l'étape saisie ici.

Le nombre maximum de schémas d'aciers HA appliqués limite le nombre de schémas de distribution différents appliqués le long de la poutre (le nombre de distributions supérieures et inférieures peut être défini séparément).

Paramètres



Ces paramètres sont nécessaires pour concevoir et vérifier les armatures des poutres.

forces internes Projetées

L'armature de la poutre peut être calculée pour une flexion dans une direction. Ainsi, la poutre peut être conçue pour des forces Vz-My ou Vy-Mz.
Vérifiez le *contrôle de la torsion* pour tenir compte du moment de torsion lors d'étude de la poutre.
Vérifiez la *réduction des efforts de cisaillement au niveau des appuis* pour appliquer les méthodes de réduction des efforts de cisaillement conformément au code d'étude actuel.

Angle de La bielle de compression du béton

L'Eurocode 2 permet de spécifier l'angle *θ de la bielle de compression du béton*. Selon le point 6.2.3 (2) $1 \leq \mathrm{ctg}\,\Theta \leq 2.5$. Dans le cas d'une bielle plate (angle de fissuration élevé), les fissurations ne croisent que peu de cadres, de sorte que le béton subit une contrainte de cisaillement plus importante. Dans le cas d'une bielle à forte pente (angle de fissuration plat), les fissurations croisent de nombreux cadres, ce qui augmente la contrainte de cisaillement des armatures de cisaillement.
Dans la méthode de l'angle variable de la ferme (deuxième option), l'angle de la bielle est optimisé pour une armature minimale du cisaillement. Si les moments de traction ou de torsion ne sont pas négligeables, il faut choisir la méthode standard (première option) où l'angle fixe de la bielle est de 45°.

Fissuration

Vérifier Augmenter *l'armature en fonction de la largeur limite de la fissuration*. Les valeurs maximales autorisées de largeur de la fissuration peuvent être entrées. Dans ce cas, le programme augmente l'armature supérieure / inférieure (en maintenant la relation $A_s \leq 0.04 A_c$) pour réduire la largeur de la fissuration en dessous de la valeur spécifiée. Pour effectuer l'analyse de la fissuration, la durée de la charge doit être spécifiée. Voir... *6.5.7.1. Calcul de la fissuration selon l'Eurocode 2*.
Si l'option *Prendre en compte la résistance à la traction du béton* est sélectionnée, aucun calcul de fissuration ne sera effectué aux points où la contrainte de traction est inférieure à la résistance à la traction du béton.

Durée de la charge

k_t est un facteur dépendant de la durée de la charge.
Pour les charges à court terme $k_t = 0.6$pour les charges à long terme $k_t = 0.8$

Vérifier la déflexion autorisée

Le programme vérifie la déflexion autorisée selon les critères établis pour les poutres et les porte-à-faux. L représente la longueur de la poutre. Cette vérification ne sera effectuée que si la pente et la section transversale réelles du béton sont définies.

Pour le coefficient des forces sismiques, voir... *4.10.24. Charges sismiques - module SE1*.

Étude des capacités

Elle peut être établie pour les poutres aussi bien qu'elles soient primaires (poutres antisismiques) ou secondaires (poutres non antisismiques). Les rotules en plastique (voir... *6.5.11. Étude de l'armature des poutres - module RC2*) peuvent être définies uniquement dans le cas de poutres antisismiques. La classe de ductilité peut être sélectionnée (M - DCM, H - DCH) qui influence la distance maximale admissible entre les cadres afin de fournir la ductilité attendue. Lors du calcul de la résistance à l'effort tranchant, θ=45° est pris en compte pour l'angle de l'bielle de compression du béton si la classe de ductilité H est sélectionnée (EN 1998-1-1).

Force axiale normalisée en situation de conception sismique

La capacité de déformation des éléments en béton armé en situation de conception sismique dépend, entre autres, du signe et de l'ampleur de la force axiale dans l'élément. Pour cette raison, la force axiale dans les éléments doit être limitée. Afin d'aider le processus de conception et de vérifier la force axiale dans les éléments, une composante normalisée de la force axiale peut être calculée et affichée pour les éléments de linéaires en béton.$\upsilon_d = \frac{N_{Ed}}{A_c f_{cd}}$

Il est important de noter que dans ce calcul, la force de compression est positive. Dans le cas de la force de traction, une valeur négative est affichée, ce qui n'est bien sûr qu'indicatif, car le béton ne peut pas résister à des forces de traction élevées. Si une force de traction est détectée, un message d'avertissement s'affiche.
Ce composant du résultat est calculé uniquement pour les cas de charge sismique, les combinaisons de charge sismique (avec ou sans cas de charge sismique réel dans la combinaison, le type de combinaison importe), les enveloppes sismiques et les combinaisons critiques sismiques.

☞ **La force axiale normalisée est calculée pour chaque élément linéaire en béton (y compris les éléments de fermes, de poutre et de nervure) en tenant compte du matériau et de la section du béton spécifiés par la définition de l'élément linéaire. Si une armature de poutre réelle est assignée à l'élément, le matériau béton et la section transversale de l'armature réelle seront pris en compte à la place des paramètres originaux..**

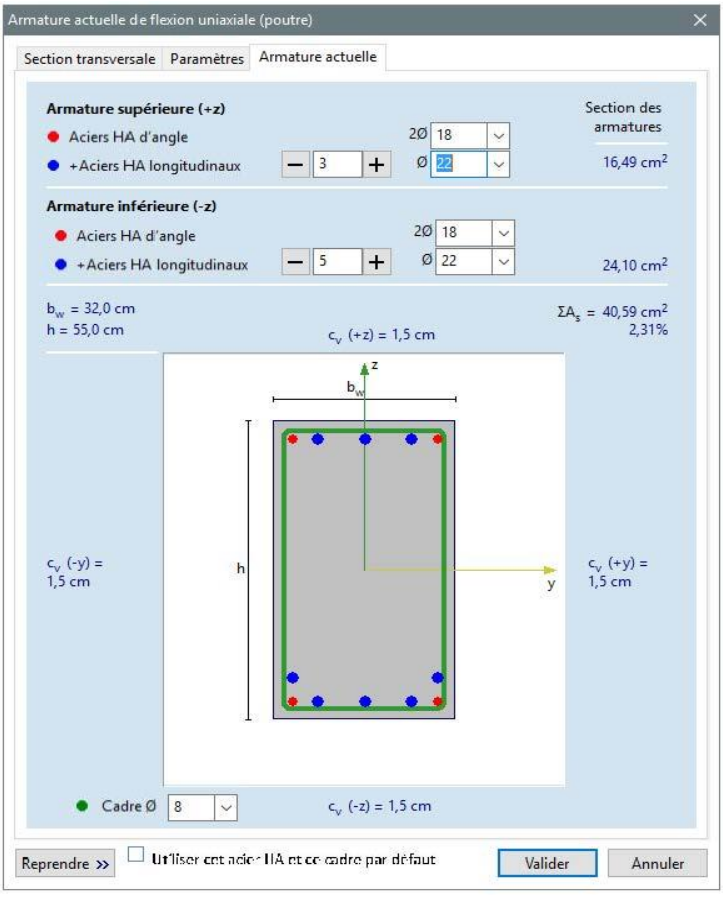
Conception du feu

Des informations détaillées sur le calcul de la résistance au feu des poteaux en béton armé se trouvent dans une section suivante (voir... *6.5.12 Conception au feu des poutres et poteaux en béton armé - module RC8-B**Hiba! A hivatkozási forrás nem található.***).

Armature réelles contre la flexion uniaxiale (poutre)



Une armature réelle peut être attribuée aux éléments finis sélectionnés. L'analyse non linéaire peut prendre en compte cette armature constante lors du calcul de la déflexion.
Le nombre nécessaire d'aciers HA d'angle en haut et en bas de la poutre est toujours là, leur diamètre peut être modifié. Le nombre et le diamètre des aciers HA supplémentaires en haut et en bas peuvent être spécifiés. Les armatures sont distribuées automatiquement.

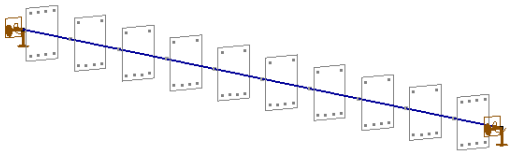


Prendre

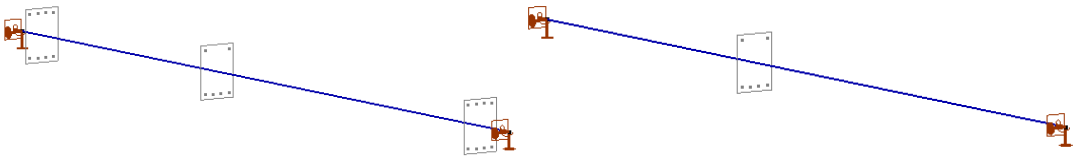
Cliquer sur *Prendre* permet de récupérer les paramètres d'étude de l'armature de la poutre définie pour une autre poutre.

Affichage de l'armature réelle

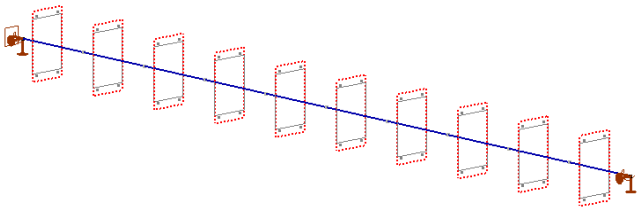
C'est une fois que l'armature réelle et ses paramètres ont été attribués à l'élément et que l'affichage des formes de section transversale est activé *(Paramètres/Options d'affichage / Symboles / Symboles graphiques / Forme de la section transv. v*oir... *2.16.18 Options d'affichage) l'armature réelle* peut également être vue dans la vue du projet.



Si un maillage est attribué à l'élément linéaire (voir... 4.11.1.1 *Maillage d'éléments linéaires*), chaque élément fini peut avoir une armature réelle différente (activer *Paramètres / Préférences / Edition / Activer la sélection des éléments finis sur les lignes*). Si l'affichage du maillage des lignes est désactivé, trois sections transversales sont affichées, une au début, une au milieu et une à la fin de l'élément. En cas d'armature réelle constante, une seule section transversale est affichée.



Lors de la définition des paramètres d'armatures de la poutre, il est possible de modifier la section transversale. Si la section transversale attribuée à l'élément linéaire n'est pas identique à la section transversale spécifiée dans la boîte de dialogue des paramètres d'armatures de la poutre, la section transversale modifiée est affichée en pointillés rouges dans la vue du projet.



Analyse non linéaire

La valeur de certains paramètres pris en compte lors de l'analyse non linéaire (voir... *6.5.5. Analyse non linéaire des éléments de poutres et de poteaux*) peut être définie par l'utilisateur :

- la prise en compte de la résistance à la traction ou à la flexion du béton ;
- la déformation finale du béton due au retrait ;

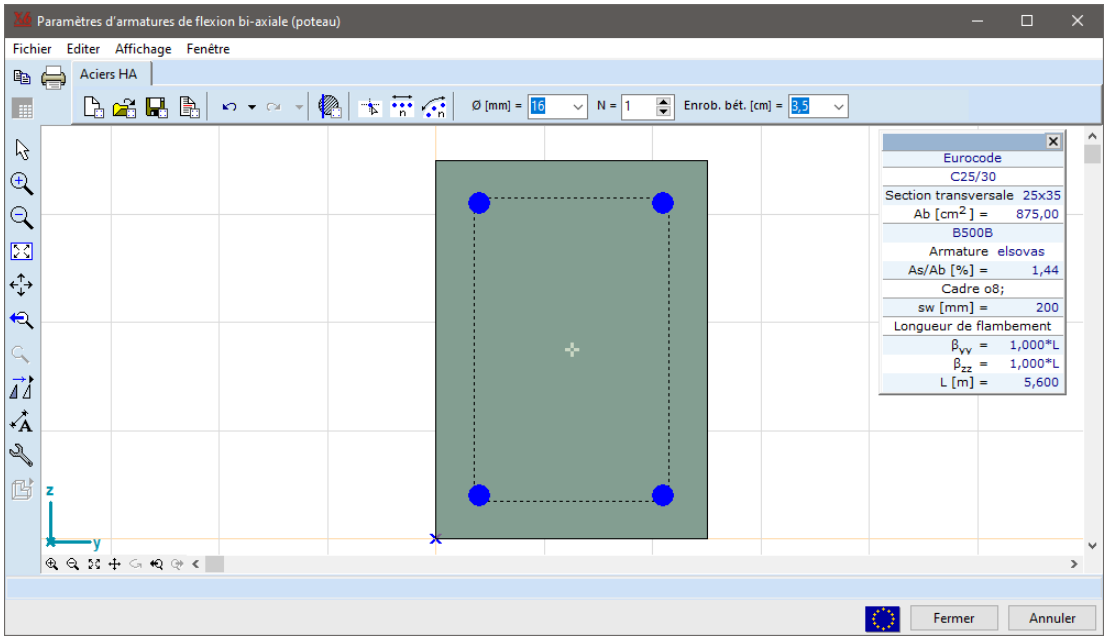
6.5.4. Paramètres d'armatures de flexion bi-axiale (poteau)



Les paramètres d'armatures contre la flexion biaxiale peuvent être spécifiés dans le dialogue ci-dessous.

Chaque élément fini peut avoir des paramètres d'armatures différents. *(Paramètres / Préférences / Edition / Permettre la sélection d'éléments finis sur les lignes*). La vérification des poteaux sur la base de l'armature réelle peut être effectuée ultérieurement (voir... *6.5.9. Armatures de poteau - module RC2*).

☞ **Ce type d'armature est utilisé pour les éléments en béton armé soumis à une flexion biaxiale. Il peut également être attribué à des éléments horizontaux, bien que dans ces cas, l'utilisation des paramètres d'armatures des poutres (**voir... ***6.5.3****. Paramètres d'armatures de flexion uni-axiale (poutre)* **) puisse être plus pratique..**



Sauvegarde le dessin en cours dans la Bibliothèque des dessins.

Définir une nouvelle armature

Ouvre une section transversale ou une armature réelle

☞ **Seules les sections transversales comportant des données graphiques peuvent être ouvertes.**

Sauvegarde l'armature sous un nom pour une exploitation ultérieure.

Liste des armatures de poteaux existants. Vous pouvez les trier et supprimer les lignes marquées.

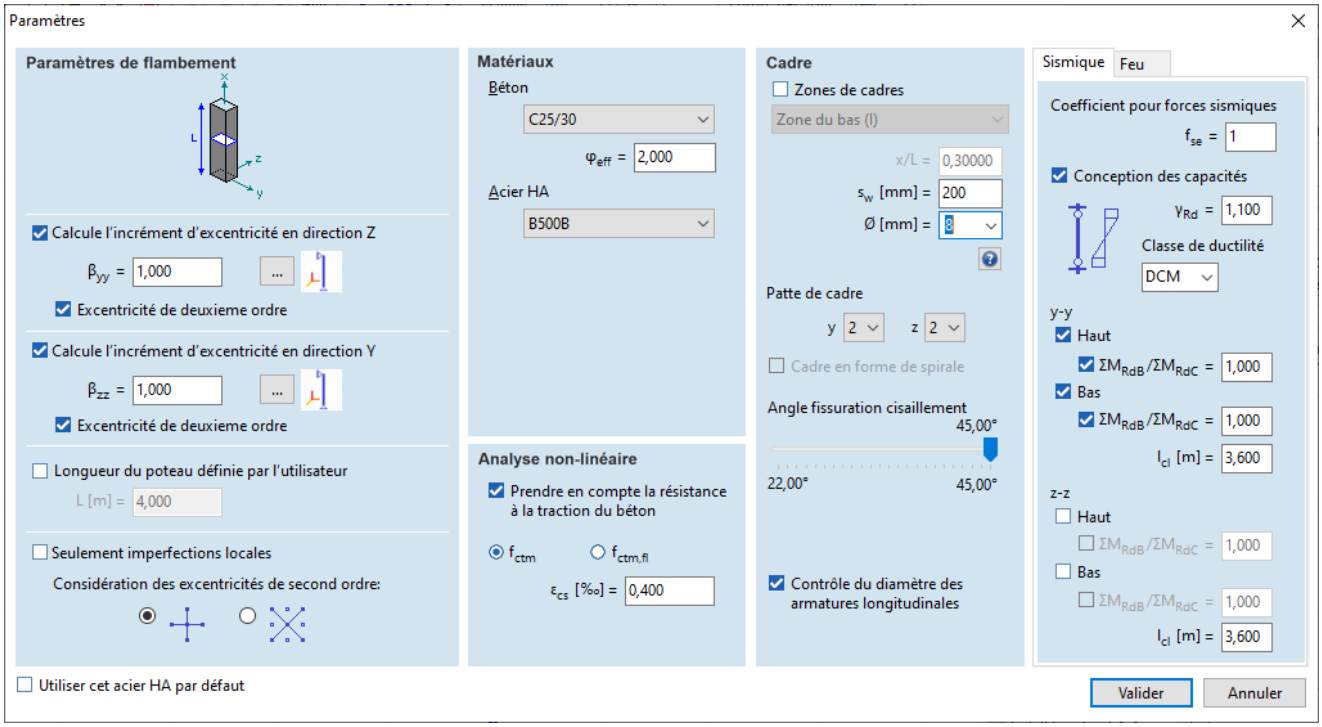
Les icônes suivantes sont disponibles dans le menu Définir l'armature :

Définition des paramètres d'armatures

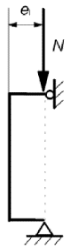
Permet de spécifier les paramètres de vérification des poteaux en béton armé. La vérification couvre le contrôle de la flexion avec ou sans force axiale, le contrôle de la rupture causée par l'effort tranchant et les effets de torsion.
Les incréments d'excentricité défavorables déterminés sur la base des paramètres de flambement sont affichés dans le tableau de contrôle des forces internes. Il peut être contrôlé si les incréments d'excentricité prescrits par le code d'étude sont appliqués dans une certaine direction ou non. En outre, la prise en compte des excentricités de second ordre peut également être contrôlée dans chaque direction. Les excentricités de second ordre peuvent être prises en compte en même temps ou indépendamment dans chaque direction. Dans les directions contrôlées β_{yy} et β_{zz} Les facteurs de longueur de flambement peuvent être spécifiés. (β_{yy} en plan *x-z* et β_{zz} en plan *x-y*). Il est également possible de modifier la hauteur du poteau utilisée dans les calculs de longueur de flambement et de sélectionner la forme de flambement.
Vous pouvez voir le coefficient des forces sismiques à *4.10.24. Charges sismiques - module SE1.*
La classe de béton considérée dans le calcul peut être modifiée par rapport à la classe de béton attribuée à l'élément structurel. Cela permet à l'utilisateur d'évaluer la sécurité structurelle du poteau avec une classe de béton différente sans nouvelle analyse statique.
ϕ_{ef} est ce qu'on appelle le taux d'élasticité efficace selon la section transversale 5.8.4 de la norme EN 1992-1-1.
En ce qui concerne l'analyse non linéaire du poteau (voir... *6.5.5. Analyse non linéaire des éléments de poutres et de poteaux*), la prise en compte de la résistance à la traction et de la contrainte de retrait peut être spécifiée. Un espacement constant ou variable des cadres (trois espaces différents avec des diamètres différents) peut être défini pour le poteau. x/L fait référence à une distance relative du bas du poteau liée à la limite des zones avec différents paramètres des cadres. Le nombre de cadres est uniforme le long de l'élément, mais il peut être différent parallèlement aux axes y et z, respectivement. L'angle de cisaillement considéré peut également être défini par l'utilisateur. Dans le cas de poteaux à section transversale circulaire, il est possible d'utiliser des cadres en spirale.

Dans le cas de structures dissipatives avec classe de ductilité DCM ou DCH (EN 1998-1-1), les valeurs de calcul des efforts tranchants sont déterminées conformément à la règle de calcul de la capacité (si le cas de charges sismiques est inclus dans la combinaison de charge sélectionnée), sur la base de l'équilibre du poteau sous les moments d'extrémité $M_{i,d}$ (avec i=1,2 désignant les sections transversales d'extrémité du poteau), correspondant à la l'établissement de rotules plastiques pour les directions positives et négatives de la charges sismiques (voir... *6.5.9. Armatures de poteau - module RC2*). Les paramètres suivants peuvent être spécifiés par l'utilisateur : le facteur de sécurité, la classe de ductilité, la longueur libre du poteau (longueur libre: la distance entre les sections transversales d'extrémité où les rotules en plastique peuvent être établies) et respectivement le rapport entre la somme des moments de capacité des poutres et des poteaux connectées à la même articulation.

Vous trouverez des informations détaillées sur le calcul de la résistance au feu des poteaux en béton armé dans le document suivant *6.5.12 Conception au feu des poutres et poteaux en béton armé - module RC8-B*

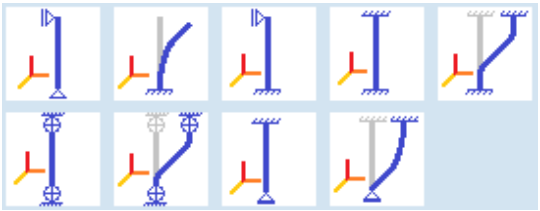


Si les imperfections globales sont prises en compte par des charges supplémentaires agissant sur la structure, elles doivent être ignorées dans le calcul de l'armature des poteaux. Pour ce faire, il convient de cocher la case Imperfections *locales uniquement*. Si une forme de flambement par oscillation est sélectionnée, seule une imperfection géométrique locale constante est prise en compte. (Voir... *6.5.9. Armatures de poteau - module RC2*).



Formes de flambement

Les excentricités de second ordre sont calculées en fonction de la forme de flambement choisie (voir... *6.5.9. Armatures de poteau - module RC2*). Les facteurs de longueur de flambement sont modifiés en conséquence, mais peuvent être annulés



☞ **Les formes de flambement données et les facteurs de longueur de flambement sont associés aux axes y et z locaux de la section transversale. En conséquence, lors du calcul des imperfections géométriques locales et des excentricités du second ordre, les inerties de flexion liées aux axes y et z sont prises en compte** (voir... *6.5.9. Armatures de poteau - module RC2*).

Aciers HA

Pour positionner / par enrobage



Génère un acier HA d'un diamètre donné à l'emplacement du curseur.
Si le curseur se trouve sur un coin ou sur la ligne de contour, l'armature sera générée en fonction de l'enrobage du béton.

Par l'espacement



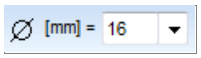
Insère uniformément *N+1* nouveaux aciers HA entre deux points sélectionnés.

Sur l'arc de cercle



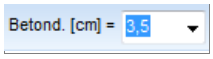
Insère uniformément *N+1* nouveaux aciers HA entre un point de départ sélectionné et un point d'arrivée d'un arc circulaire.
Si un cercle entier est dessiné, il faut insérer N aciers HA uniformément autour du cercle.

Diamètre

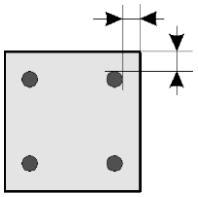


Permet de définir ou de modifier le diamètre d'un acier HA.
Pour modifier, sélectionnez les aciers HA puis entrez le diamètre ou sélectionnez une valeur dans la liste.

Enrobage



Permet de définir ou de modifier l'enrobage béton.



☞ **Dans ce cas, l'enrobage béton est la distance entre la fibre extrême et la barre d'armature !**

Modification de la géométrie des aciers HA :

1. Déplacez le curseur sur le centroïde de l'acier HA.
2. Utilisez le bouton de gauche (maintenez enfoncé) pour déplacer l'acier HA à son nouvel emplacement, ou, entrez ses nouvelles coordonnées numériquement dans la fenêtre des coordonnées.



Le numéro de division qui définit le nombre d'aciers HA comme *N+1*.



Crée des nouveaux aciers HA en copiant des aciers HA existants par translation.



Crée de nouveaux aciers HA en copiant les aciers HA existants par rotations.



Crée de nouveaux aciers HA en reflétant ceux qui existent déjà.

Affichage de l'armature réel

Une fois que l'armature réel et ses paramètres ont été attribués à l'élément et que l'affichage des formes de section transversale est activé *(Options d'affichage / Symboles / Symboles graphiques / Forme de la section transversale)*, voir... *2.16.18. Options d'affichage*, *l'armature* réelle peut également être vu dans la vue du projet.
Voir aussi *6.5.3 Paramètres d'armatures de flexion uni-axiale (poutre)*

Analyse non linéaire

La valeur de certains paramètres pris en compte lors de l'analyse non linéaire (voir... *6.5.5. Analyse non linéaire des éléments de poutres et de poteaux*) peut être définie par l'utilisateur :

- La prise en compte de la résistance à la traction ou à la flexion du béton
- La déformation finale du béton due au retrait

Force axiale normalisée dans une situation de conception sismique

La capacité de déformation des éléments en béton armé en situation de conception sismique dépend, entre autres, du signe et de l'ampleur de la force axiale dans l'élément. Pour cette raison, la force axiale dans les éléments doit être limitée. Afin d'aider le processus de conception et de vérifier la force axiale dans les éléments, des valeurs normalisées de la force axiale sont utilisées. (normalisé par rapport à $A_c f_{cd}$)
La force axiale comme composante du résultat peut être calculée et représentée graphiquement pour les éléments linéaires en béton.

$$\upsilon_d = \frac{N_{Ed}}{A_c f_{cd}}$$

Il est important de noter que dans ce calcul, la force de compression est positive. Dans le cas de la force de traction, une valeur négative est affichée, ce qui n'est bien sûr qu'indicatif, car le béton ne peut pas résister à des forces de traction élevées. Le logiciel avertit l'utilisateur dans le cas de la présence d'une force de traction par un message d'avertissement.
Ce composant de résultat est calculé uniquement pour les cas de charge sismique, les combinaisons de charge sismique (avec ou sans cas de charge sismique réel dans la combinaison, le type de combinaison importe), les enveloppes sismiques et les combinaisons critiques sismiques.
La force axiale normalisée est calculée pour chaque élément linéaire en béton (y compris les éléments de fermes de poutres et de nervures) en tenant compte du matériau et de la section du béton spécifiés dans la définition de l'élément linéaire. Si une armature de poutre réelle est assignée à l'élément, le matériau de béton et la section transversale de l'armature réelle seront pris en compte à la place des paramètres originaux.

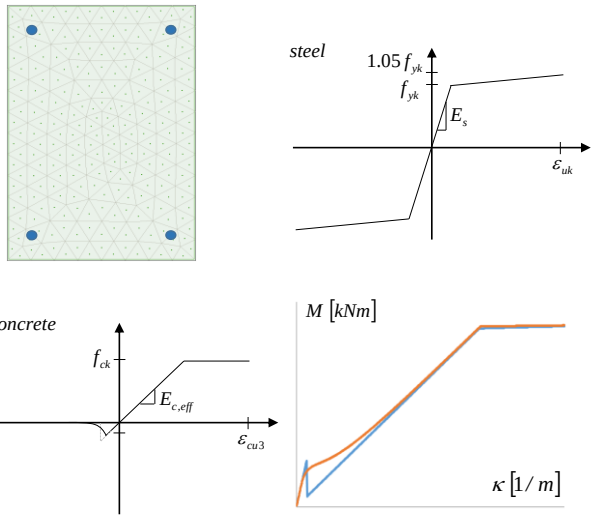
☞ **La force axiale normalisée est calculée pour chaque élément linéaire en béton (y compris les éléments de fermes de poutres et de nervures) en tenant compte du matériau et de la section du béton spécifiés dans la définition de l'élément linéaire. Si une armature de poutre réelle est assignée à l'élément, le matériau de béton et la section transversale de l'armature réelle seront pris en compte à la place des paramètres originaux.**

Conception du feu

Des informations détaillées sur le calcul de la résistance au feu des poteaux en béton armé se trouvent dans une section suivante (voir... *6.5.12 Conception au feu des poutres et poteaux en béton armé - module RC8-B*).

6.5.5. Analyse non linéaire des éléments de poutres et de poteaux en B.A.

En cas d'analyse non linéaire, les armatures réelles, les paramètres du béton et le comportement non linéaire de l'acier/béton peuvent être pris en compte (voir... *5.1. Analyse statique*) pour les normes suivantes:
Eurocode 2: EN 1992-1-1:2010
SIA: SIA 262:2013
Les forces internes compatibles avec les déformations sont calculées par intégration numérique des contraintes des fibres aux points d'intégration de Gauss sur la base des déformations normales ε, des courbures κ_y et κ_z. La section transversale du béton est divisée en un certain nombre de fibres triangulaires ; pour les armatures en acier, des fibres indépendantes sont assignées avec une forme circulaire. Les contraintes des fibres sont calculées sur la base de la déformation au centre de la fibre et basées sur un modèle de matériau non linéaire béton/acier. La différence entre les modèles de matériaux intégrés pour les normes CE et SIA ne concerne que les valeurs de résistance, de déformation ultime ; la forme du modèle de matériau est identique.



Afin d'éviter les problèmes de convergence, le modèle de matériau concret a été modifié du côté de la tension. D'après les résultats des tests de vérification, les déplacements calculés sont proches des déplacements calculés avec des formules standardisées. L'erreur était inférieure à 5% dans tous les cas étudiés.

La contrainte de traction dans le béton est calculée à l'aide de la formule suivante qui est basée sur une méthode approximative de la section transversale 7.4.3 de la norme EN 1992-1-1:

$$\sigma = E\varepsilon(1-\zeta)$$

$$\zeta = \min\left[\max\left[1-\alpha\beta\left(\frac{f_t}{E\varepsilon}\right)^{\gamma};0\right];1\right]$$

Les facteurs α et γ sont choisis (en fonction du rapport entre le module d'Young du béton et de l'acier et en fonction du rapport d'armature) en fonction des résultats d'une étude paramétrique afin de calculer les déformations en bon accord avec la section transversale 7.4.3. de l'EN 1992-1-1.

☞ **β est un coefficient qui tient compte de l'influence de la durée du chargement. Selon la norme EN 1992-1-1, β peut être choisi respectivement à 0,5 et 1,0 en cas de charges soutenues et de charges de courte durée. Si l'élasticité est prise en compte dans l'analyse non linéaire, β est choisi à 0,5. Si l'élasticité n'est pas prise en compte dans l'analyse non linéaire, β=0,5 ou β=1,0 peut également être utilisé. La valeur pour ces cas peut être spécifiée dans la fenêtre Norme** (voir... *3.3.7 Normes*)

Élasticité et retrait

La prise en compte de l'élasticité et du retrait dans l'analyse statique non linéaire peut être fixée par l'initialisation de l'analyse (Voir... *5.1. Analyse statique*). L'élasticité est pris en compte par la modification du module d'Young du béton. En cas de retrait, deux courbures supplémentaires κ_y et κ_z (calculées à partir de la disposition et de la quantité d'armature) sont ajoutées aux contraintes calculées en fonction de la contrainte de retrait donnée (voir... *6.5.3. Paramètres d'armatures de flexion uni-axiale (poutre)* et *6.5.4. Paramètres d'armatures de flexion bi-axiale (poteau)*.

☞ **L'objectif de la prise en compte de l'armature réelle dans l'analyse statique non linéaire est le calcul plus précis de la déflexion pour les éléments en béton armé linéaires par la vérification dans les états limites de service en tenant compte du comportement non linéaire des matériaux et des structures. L'utilisation de ce modèle d'intégration des fibres pour modéliser la non-linéarité des matériaux n'est pas recommandée pour la vérification des éléments en béton armé aux états limites ultimes. Il est également important de noter que le présent modèle ne peut pas être utilisé dans l'analyse par poussée afin de prendre en compte le comportement non linéaire des éléments en béton armé au lieu des rotules plastiques (**voir... *4.10.25 Charge de poussée - module SE2***) car les modèles de matériaux présentés ne prennent pas en compte la dégradation cyclique du béton et de la résistance/rigidité de l'acier, le flambement des aciers HA, etc.**

☞ **Dans le cas des sections transversales composites, le comportement non linéaire n'est pas pris en compte. Les éléments ayant des sections transversales composites sont traités comme des éléments linéaires. Pour tenir compte de tout effet d'élasticité dans le cas d'une section transversale composite, il faut attribuer un matériau en béton avec un module d'Young réduit.**

Après avoir effectué une analyse non linéaire avec une armature réelle, les messages d'erreur suivants peuvent apparaître :

1) Incrément X, poutre Y : la force normale dépasse la résistance à la traction/compression
La force normale a dépassé la résistance d'étude en traction/compression pour les poutres à charge centrale

2) Incrément X, poutre Y : le moment de flexion dépasse la résistance à la flexion
Le moment de flexion à l'incrément X a dépassé la résistance à la flexion dans certaines sections transversales de la poutre

3) Incrément X, poutre Y : les armatures de traction longitudinale sont insuffisantes
Les armatures longitudinales du côté de la traction sont inférieures à la valeur minimale recommandée selon l'Eurocode 2, donc un comportement fragile est attendu en raison de la fissuration soudaine et considérable qui peut conduire à des problèmes de convergence

4) Incrément X, poutre Y : la contrainte réelle dépasse la contrainte limite
La déformation dans l'acier HA ou dans la fibre de compression extrême a dépassé la valeur limite

Ces messages semblent aider à détecter et à corriger les erreurs commises lors de la définition de l'armature réelle

6.5.6. Analyse non linéaire des surfaces en B.A.

Dans le cas de l'analyse statique linéaire, la déflexion de la plaque est calculée selon la théorie élastique. En fait, le comportement des plaques B.A. est non linéaire en raison de deux effets opposés. L'armature réelle augmente la résistance à la flexion mais la fissuration la diminue.
L'analyse de la déflexion non linéaire des plaques B.A. suit ces deux effets en tenant compte de l'armature réelle ou calculée.

☞ **La méthode présentée ci-dessous, pour la prise en compte de la non-linéarité du matériau des surfaces RC dans l'analyse non-linéaire, peut être utilisée pour le calcul des déflexions par vérification dans les états limites de service. L'utilisation de ce modèle d'intégration des fibres pour modéliser la non-linéarité des matériaux n'est pas recommandée pour la vérification des états limites ultimes. Il est également important de noter que le présent modèle ne peut pas être utilisé dans l'analyse des poussées afin de prendre en compte le comportement non linéaire des éléments en béton armé au lieu des rotules plastiques (**voir... *4.10.25 Charge de poussée - module SE2*) **car les modèles de matériaux présentés ne prennent pas en compte la dégradation cyclique de la résistance/rigidité du béton et de l'acier, le flambement des aciers HA, etc.**

Norme

MSz: MSz 15022-1:1986

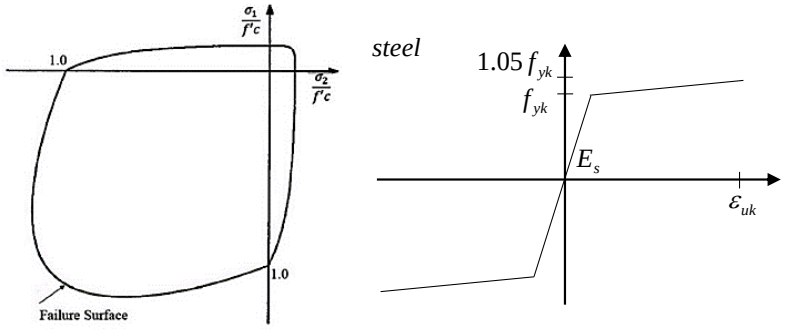
Eurocode 2: EN 1992-1-1:2010

SIA: SIA 262:2013

Calcul

Non-linéarité ε-N ; κ -M

Les forces internes compatibles avec les déformations sont calculées par intégration numérique des contraintes des fibres aux points d'intégration de Gauss sur la base des déformations normales ε_x, ε_y et $\varepsilon_{xy,\,des}$ courbures κ_x, κ_y et κ_{xy}. La section transversale du béton est divisée en un certain nombre de fibres (en l'occurrence des couches) ; pour les armatures en acier, des fibres indépendantes sont attribuées avec une forme circulaire. Les contraintes sur les fibres sont calculées en fonction de la déformation au centre de la fibre et sur la base d'un projet de matériau non linéaire béton/acier. Afin d'éviter les problèmes de convergence, le modèle de matériau en béton a été légèrement modifié du côté de la tension, de la même manière que pour les poutres et les poteaux.



Non-linéarité ε-N (Mur)

Dans ce cas, le comportement non linéaire n'est pris en compte que dans la connexion des contraintes normales et des forces membranaires. Les moments de flexion sont calculés élastiquement sans tenir compte des forces membranaires.

Non-linéarité κ -M (Dalle)

Dans ce cas, le comportement non linéaire n'est pris en compte qu'en relation avec les courbures et les moments de flexion. Les moments de flexion sont intégrés indépendamment dans les directions x et y, l'effet des forces membranaires sur le comportement en flexion est pris en compte. Les forces membranaires et Mxy sont calculées de manière élastique.

☞ **Dans le cas de dalles présentant une torsion considérable, une analyse non linéaire basée uniquement sur le comportement en flexion κx-Mx et κy-My peut sous-estimer la déflexion, il est donc recommandé d'utiliser le premier ε-N ; κ-M projet complexe. Celui-ci peut suivre le comportement non linéaire lié aux six composantes de la déformation et de la force interne.**
Dans le cas du projet de non-linéarité κ-M, afin de calculer des déformations plus réalistes, la rigidité à la torsion dans la matrice de rigidité est considérée sur une valeur réduite si la surface est fissurée en un point spécifique dans les directions principales x et y. Si la hauteur de la zone fissurée est considérable (>0,5H), la rigidité à la torsion est considérée sur 15 % de la valeur élastique initiale. Une valeur interpolée linéairement est utilisée entre les deux états.

L'analyse non linéaire des surfaces de béton armé de travers n'est pas autorisée. Ces surfaces sont traitées comme des éléments Matériellement linéaires sans tenir compte de la fissuration et de l'effet des armatures. Le module d'Young est calculé en tenant compte du facteur d'élasticité défini.

Quantité D'armature

L'armature réelle ou calculée peut être prise en compte dans l'analyse statique non linéaire en choisissant Utiliser *l'armature dans le calcul* dans la boîte de dialogue Analyse statique non linéaire (Voir... *5.1. Analyse statique*). La convergence de ces analyses non linéaires est sensible à la quantité d'armature. Afin d'éviter les problèmes de convergence, AxisVM applique l'armature minimum prescrite par le code d'étude où l'armature réelle (supérieure ou inférieure) et n'est défini que dans une seule direction. La convergence est généralement meilleure dans le cas d'une armature réelle. Il est recommandé d'utiliser l'option *Prendre en compte l'armature minimum* requise lors de la définition des paramètres d'armatures des surfaces (Voir... *6.5.1. Paramètres des armatures surfaciques et calcul des armatures - module RC1*)

Éléments à l'intérieur du contour des poteaux

Si l'option Adapter le maillage aux têtes de poteau est sélectionnée par maillage de domaine, les éléments finis à l'intérieur du contour des poteaux B.A. peuvent être identifiés. Afin d'éviter les problèmes de convergence, le comportement non linéaire de ces éléments n'est pas pris en compte dans le calcul.

Élasticité et retrait

La prise en compte de l'élasticité et du retrait dans l'analyse statique non linéaire peut être fixée par l'initialisation de l'analyse (Voir... *5.1. Analyse statique*). L'élasticité est prise en compte par la modification du module d'Young du béton. Le retrait n'est pris en compte que dans les déformations en flexion.

Non-linéarité ε-N ; κ -M

Deux courbes calculées (basées sur la disposition et la quantité d'armature et sur l'état de la section transversale B.A.) induites par le retrait (à savoir κ_x et κ_y) sont ajoutées aux contraintes calculées en fonction de la contrainte de retrait donnée (voir... *6.5.1. Paramètres des armatures surfaciques et calcul des armatures - module RC1)*.

Non-linéarité ε-N (Mur)

L'armature des murs est généralement symétrique, de sorte que les courbes de retrait ne sont pas prises en compte dans ce cas.

Non-linéarité κ -M (Dalle)

Deux retraits calculés (basés sur la disposition et la quantité d'armature et sur l'état de la section transversale B.A.) induits sont ajoutés aux contraintes calculées en fonction de la contrainte de retrait donnée.

Messages d'avertissement

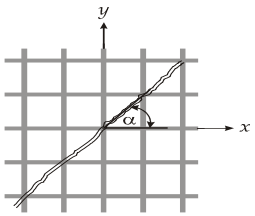
Après avoir effectué une analyse non linéaire avec une armature réelle, les messages d'avertissement suivants peuvent apparaître :

- "La force normale dépasse la résistance."
- "La contrainte réelle dépasse la contrainte limite."
  (Note : Dans le cas de l'armature ou du béton en compression)

6.5.7. Fissuration

Norme

Eurocode 2 : *EN 1992-1-1:2004*
DIN : *DIN 1045-1:2001-07*



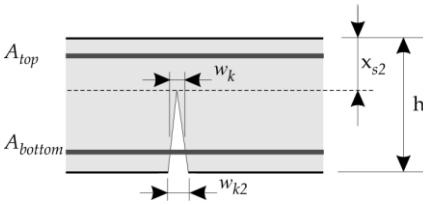
Après l'attribution de l'armature réelle, le programme calcule la largeur et la direction de la fissuration dans les éléments de la membrane, de la plaque et de l'enveloppe. Le calcul peut être effectué avec des directions d'armature relatives aux axes locaux *x* et *y de l'*élément surfacique ou avec des directions de force de retenue arbitraires ξ et η. Le programme affiche les ouvertures de fissurations en mode codé couleur, peut dessiner la carte de la fissuration et les angles de fissurations.

L'ensemble des paramètres peut être consulté dans la section transversale précédente.

Résultats

Dans le tableau des résultats, vous trouverez les informations suivantes. Le calcul de la largeur des fissures peut être effectué pour les armatures requises (marquées d'un *, par exemple, *wk** et *wk2**) et pas seulement pour les armatures réelles. Les largeurs de fissures calculées pour l'armature requise ne peuvent être considérées que comme des valeurs approximatives car l'armature réelle final sera différent de l'armature requise.

Aa(x/ξ), Aa(y/η) L'armature réel dans les directions ***x*** et ***y*** (ou dans les directions ***ξ*** et ***η*** en cas d'armature en biais)
wk largeur de la fissuration à l'axe de la barre d'armature
wk2 largeur de la fissuration au bord de la dalle
xs2 la position de l'axe neutre par rapport au bord du côté comprimé
σs2 la contrainte des aciers HA
wR angle de fissuration par rapport à la direction x locale
nx, ny, nxy, mx, my, mxy forces et moments surfaciques



☞ **Un message d'avertissement apparaîtra si la contrainte calculée sur les aciers HA est supérieure à la limite d'élasticité caractéristique. Le calcul de la largeur de la fissuration est basé sur la force de retenue réelle attribuée aux surfaces.**

6.5.7.1. Calcul de la fissuration selon l'Eurocode 2

$w_k = s_{r,max}(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$Où $s_{r,max}$ est la fissuration maximale,

ϵ_{sm} Est la contrainte de l'acier HA, ϵ_{cm} est la contrainte du béton entre les fissurations

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = \frac{\sigma_{s2} - \frac{k_t f_{ctm}}{\rho_{\rho,eff}}\left(1 + \frac{E_s}{E_{cm}}\rho_{\rho,eff}\right)}{E_s} \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_{s2}}{E_s}$$

$s_{r,max} = k_3 \cdot c + k_4 \cdot k_1 k_2 \frac{\overline{\Phi}}{\rho_{\rho,eff}}$ ($s_{r,max} = \frac{\sigma_{s2}\Phi}{3.6 f_{ct,eff}}$ dans le cas de la norme DIN EN 1992-1-1)

Où

$\overline{\Phi}$ Est le diamètre moyen des aciers HA,
c Est l'enrobage béton,
k_1 Est un facteur qui dépend de la surface des aciers HA (nervurées ou non),
k_2 Est un facteur qui dépend du caractère de la tension excentrique,
k_3 Est un facteur peut être égal à 3,4
$\mathbf{k_4}$ Est un facteur peut être égal à 0,425
Les facteurs k3 et k4 peuvent être définis dans la fenêtre Norme sous l'onglet Béton armé (voir... *3.3.7 Normes*)
k_t Est un facteur de durée de la charge
Pour les charges à court terme $k_t = 0.6$
Pour les charges à long terme (permanentes) $k_t = 0.4$
$\rho_{\rho eff} = A_s/A_{c,eff}$ est le rapport d'armature efficace

Si des armatures lisses sont utilisées ou si l'espacement des armatures nervurées est supérieur à $5 \cdot (c + \frac{\Phi}{2})$alors
$s_{rmax} = 1.3 \cdot (h - x_2)$.

Le programme tient compte du fait que la fissuration n'est perpendiculaire à aucune des directions d'armature et calcule son angle par rapport à l'axe des x.

6.5.7.2. Calcul de la fissuration selon la norme DIN 1045-1

$w_k = s_{r,max}(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$Où $s_{r,max}$ est la fissuration maximale,

ϵ_{sm} est la contrainte de la barre d'armature, ϵ_{cm} est la contrainte du béton entre les fissurations

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = \frac{\sigma_{s2} - 0.4 \cdot \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}}\left(1 + \frac{E_s}{E_{cm}}\rho_{eff}\right)}{E_s} \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_{s2}}{E_s}$$

$$s_{rmax} = \frac{\overline{d}}{3.6 \cdot \rho_{eff}} \leq \frac{\sigma_{s2}\overline{d}}{3.6 f_{ctm}}$$

Où
$\overline{d}$ est le diamètre moyen des aciers HA
$\rho_{\rho eff} = A_s/A_{c,eff}$ est le rapport d'armature efficace

Le programme tient compte du fait que la fissuration n'est perpendiculaire à aucune des directions d'armature et calcule son angle par rapport à l'axe des x.

6.5.8. Calcul de la résistance à l'effort tranchant des armatures des plaques et des coques – module RC3

Norme

Eurocode 2 : *EN 1992-1-1:2004*
DIN : *DIN 1045-1:2001-07*
SIA : *SIA 262:2013*

AxisVM calcule la résistance au cisaillement de la plaque ou de l'enveloppe renforcée sans armature de cisaillement, l'armature de cisaillement (asw) si nécessaire et la résistance maximale au cisaillement des structures en plaque et en enveloppe avec armature de cisaillement en fonction de la défaillance du béton en compression.
En outre, l'effort tranchant résultant, la direction principale (ϕ), la différence entre l'effort tranchant nominal et l'effort tranchant sans armature à l'effort tranchant et le rapport entre l'effort tranchant nominal et la résistance maximale à l'effort tranchant avec armature d'effort tranchant sont également calculés.
Cette fonctionnalité est disponible pour les types de domaines suivants (voir... *4.9.6. Domaine*) :

- Domaines normaux,
- Domaines nervurés composites,
- Domaines nervurés paramétriques,
- Domaines avec matrice de rigidité personnalisée,
- Dalles AIRDECK,

Dalles composites avec hourdis en tôle trapézoïdale (si l'option *hourdis trapézoïdal utilisée uniquement comme coffrage* est cochée).

☞ **En raison des différences entre les réglementations relatives au cisaillement et au poinçonnement, ce calcul et une vérification basée sur les éléments de résultat présentés ne peuvent pas remplacer la vérification du poinçonnement !**

$v_{Ed} = \sqrt{v_{xz}^2 v_{yz}^2}$ Est l'effort tranchant résultant, où v_{xz}et v_{yz} sont les composantes d'effort tranchant dans les plans avec des normales dans la direction locale x et y.

$\phi = \arctan\frac{v_{yz}}{v_{xz}}$ Est l'angle de la normale du plan, dans lequel l'effort tranchant résultant q_{Rz} agis (Cet angle peut être affiché en tant que composante du résultat).

$d = (d_x d_y)/2$ Est la hauteur moyenne effective.

Armatures orthogonal x/y:

$\rho_l = \rho_x \cos^2 \phi \, \rho_y$ péché^2 ϕ Est le ratio d'armature de l'armature longitudinale.

ρ_x Et ρ_y sont des ratios de aciers HA

Calculé à partir des armatures de traction dans les directions *x* et *y de l*'armature.

Armatures de biais :

$\rho_l = \rho_\xi \cos^2(\phi - \alpha) \, \rho_\eta \cos^2[\beta - (\phi - \alpha)]$ Est le ratio d'armature de l'armature longitudinale.

ρ_ξ et ρ_η sont des ratios de aciers HA

Calculés à partir des armatures de traction dans les directions ξ et η, respectivement.

☞ **Le calcul de la résistance à l'effort tranchant est basé sur l'armature réelle attribué aux surfaces.**

6.5.8.1. Calcul selon l'Eurocode 2

La résistance à l'effort tranchant est

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} k (100 \cdot \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}\right] \cdot d \geq \left(v_{min} + k_1 \sigma_{cp}\right) \cdot d$$

Où

$$C_{Rd,c} = \frac{0.18}{\gamma_c}, \qquad k = 1 + \sqrt{200/d} \leq 2.0, \qquad k_1 = 0.15$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} \leq 0.2 \, f_{cd}, \qquad v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$$

N_{Ed} Est la force normale dans l'enveloppe perpendiculaire au plan de q_{Rz}.

N_{Ed} Est positif en compression.

Le taux d'armature est de $\rho_l \leq 0.02$

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} z \nu_1 f_{cd} \frac{\cot\theta + \cot\alpha}{1 + \cot^2\theta}$$

Où

$$\nu_1 = \nu = 0.6\left[1 - \frac{f_{ck}}{250}\right]$$

$$\alpha_{cw} = 1.0 \leftarrow \sigma_{cp} = 0$$

$$\alpha_{cw} = \left(1 + \frac{\sigma_{cp}}{f_{cd}}\right) \leftarrow 0 < \sigma_{cp} \leq 0.25 f_{cd}$$

$$\alpha_{cw} = 1.25 \leftarrow 0.25 f_{cd} < \sigma_{cp} \leq 0.5 f_{cd}$$

$$\alpha_{cw} = 2.5\left(1 - \frac{\sigma_{cp}}{f_{cd}}\right) \leftarrow 0.5 f_{cd} < \sigma_{cp} \leq f_{cd}$$

z Est l'arme de niveau des forces internes

Calcul du bras de levier des forces internes

Le bras de levier des forces internes est calculé selon l'une des deux méthodes suivantes, en fonction des paramètres spécifiés par l'utilisateur (Voir... *6.5.1. Paramètres des armatures surfaciques et calcul des armatures - module RC1*) :

- Calcul à partir des forces internes basé sur l'équilibre d'un modèle sandwich à trois couches ;
- environ : $z = 0.9d$

Calcul de l'armature de cisaillement nécessaire

Si v_{Ed} est supérieure à $V_{Rd,c}$ l'armature de cisaillement est nécessaire pour résister aux forces de cisaillement. L'armature requise (par exemple [mm^2/m^2]) est calculée à l'aide de la formule suivante. Si v_{Ed} est supérieure à $V_{Rd,max}$La section transversale ne peut pas être renforcée contre la force de cisaillement. Dans ces cas, le logiciel avertit l'utilisateur par un message d'avertissement.

$$a_{sw} = \frac{v_{Ed}}{z f_{ywd} 1m[(\cot\theta + \cot\alpha)\sin\alpha]}$$

$V_{Rd,c}, V_{Rd,max}$ Étant les résistances à l'effort tranchant, en outre la différence entre l'effort tranchant calculé et la résistance à l'effort tranchant $V_{Ed} - V_{Rd,c}$ et $V_{Ed}/V_{Rd,max}$ peut également être affiché avec des isolignes et des isosurfaces.

6.5.8.2. Calcul selon la norme SIA 262

La résistance au cisaillement est

$$V_{Rdc} = k_d \tau_{cd} d$$

Où $\tau_{cd} = 0.3\sqrt{f_{ck}}/\gamma_c;\ k_d = 1/(1 + \varepsilon_v d k_g);\ k_g = 48/(16 + D_{max})$
Selon les réglages, le paramètre ε_v est calculé comme suit :

$$\varepsilon_v = 1{,}5\frac{f_{sd}}{E_s} \textit{ ou bien } \varepsilon_v = \frac{m_d}{m_{Rd}}\frac{f_{sd}}{E_s}.$$

Si la direction de l'effort partagé de conception résultant de f V_{Ed} n'est pas parallèle aux armatures x ou y, ε_v est augmenté de$1/(\cos^4\phi + \sin^4\phi)$.

$$V_{Rd,max} = z k_c f_{cd} (\cos\alpha + \cot\beta \sin\alpha)\sin\alpha$$

Où

$$k_c = \frac{1}{1.2 + 55\varepsilon_1} \leq 0.65 \qquad \varepsilon_1 = \varepsilon_x + (\varepsilon_x + 0.002)\cot^2\alpha$$

Z est le bras de levier des forces internes.

Calcul de l'armature de cisaillement nécessaire

Si v_{Ed} est supérieure à $V_{Rd,c}$L'armature de cisaillement est nécessaire pour résister aux forces de cisaillement. L'armature requise (par exemple [mm2/m2]) est calculée à l'aide de la formule suivante. Si v_{Ed} est supérieure à $V_{Rd,max}$La section transversale ne peut pas être renforcée contre la force de cisaillement. Dans ces cas, le logiciel avertit l'utilisateur par un message d'avertissement.

$$a_{sw} = \frac{v_{Ed}}{z f_{ywd} 1m[(\cot\theta + \cot\alpha)\sin\alpha]}$$

$V_{Rd,c}, V_{Rd,max}$ étant les résistances à l'effort tranchant en outre la différence entre l'effort tranchant calculé et la résistance à l'effort tranchant $V_{Ed} - V_{Rd,c}$ et $V_{Ed}/V_{Rd,max}$ peut également être affiché avec des isolignes et des isosurfaces.

6.5.9. Armatures de poteau - module RC2



La vérification du poteau en béton armé peut être effectuée sur la base des norme suivantes :

Norme

Eurocode 2: EN 1992-1-1:2004 + (MSZ, DIN, SR, DS, NBN, BS, NEN, SFS, NS, SS, NTC, CSN, PN, ELOT AN)
DIN : *DIN 1045-1:2001-07*
SIA : *SIA 262:2013*

Aciers HA

L'armature réelle peut être saisie de la même manière que celle décrite au point *6.5.4. Paramètres d'armatures de flexion bi-axiale (poteau)*

Vérification des poteaux

Le programme effectue la vérification à la flexion avec ou sans force axiale, l'effort tranchant et les moments de torsion du poteau en fonction des propriétés de la section transversale et des paramètres d'armatures et détermine les incréments d'excentricité pour les forces dans les poteaux sélectionnées (ou toute valeurs $N_x, M_{yb}, M_{zb}, M_{yt}, M_{zt}$) sur la base des paramètres de flambement donnés et conformément aux exigences du code d'étude actuel.
Il Calcule également les forces d'étude $N_{x,Ed}, M_{y,Ed}, M_{z,Ed}$ en utilisant les incréments d'excentricité et vérifie si ces points se trouvent dans le diagramme d'interaction.
L'affichage du diagramme peut être réglé dans la fenêtre Paramètres d'affichage.
En cas de vérification de l'effort tranchant, le logiciel détermine la résistance à l'effort tranchant du béton et des cadres et la limite supérieure de la résistance à l'effort tranchant liée à la rupture de l'bielle béton en compression. Dans le cas de la vérification des effets de torsion, le logiciel détermine la résistance à la torsion du béton et la limite supérieure de la résistance à la torsion liée à la rupture de l'bielle en béton en compression. Lors du calcul de l'exploitation, l'effet combiné de l'effort tranchant et de la torsion est également pris en compte.



Afficher

Etude B.A./ Armatures de poteau/ vérification de poteau/Etablit les paramètres d'affichage Permet de définir les modes d'affichage du diagramme d'interaction.

Info : déplacer l'onglet paramètres pour faire apparaître l'onglet vérification des poteaux en béton

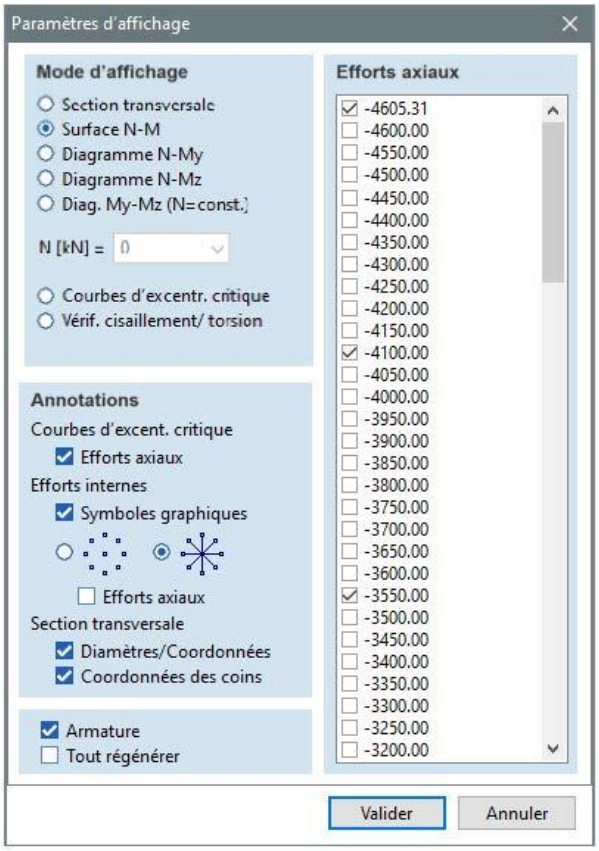
Sélectionnez le mode d'affichage en cliquant sur un bouton radio dans le cadre Mode d'affichage. Cela a le même effet que de le sélectionner dans la liste déroulante.

Sélectionnez les valeurs de force axiale à utiliser pour dessiner le diagramme d'interaction 3D (surface N-M) dans la liste de contrôle.

Dans le groupe Annotations, vous pouvez activer et désactiver l'étiquetage des forces axiales, l'affichage de symboles graphiques pour les forces internes des poteaux sélectionnées dans l'espace N-My-Mz et les options d'affichage pour le mode d'affichage de la section transversale.

La couleur bleue montre que le $N_{x,Ed}, M_{y,Ed}, M_{z,Ed}$ se trouvent dans le diagramme d'interaction.

La couleur rouge montre que $N_{x,Ed}, M_{y,Ed}, M_{z,Ed}$ sont en dehors du diagramme d'interaction. Les forces normales pour ces points sont toujours affichées.



Surface N-M Affiche le diagramme 3D de l'interaction des forces *Nx-My-Mz*.

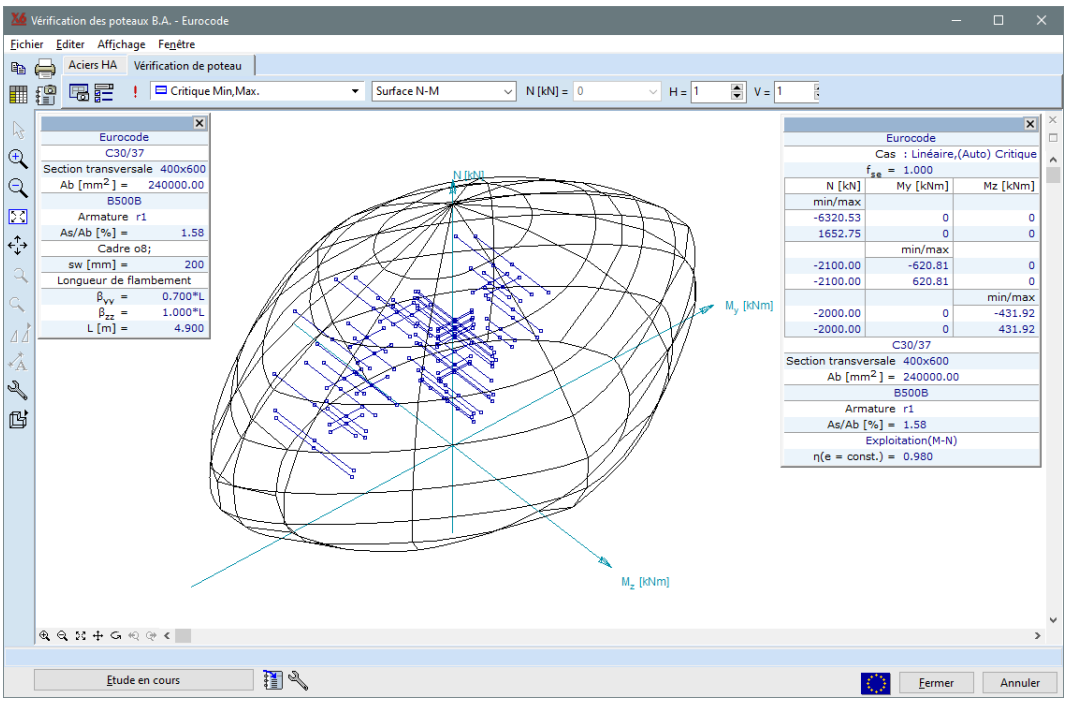
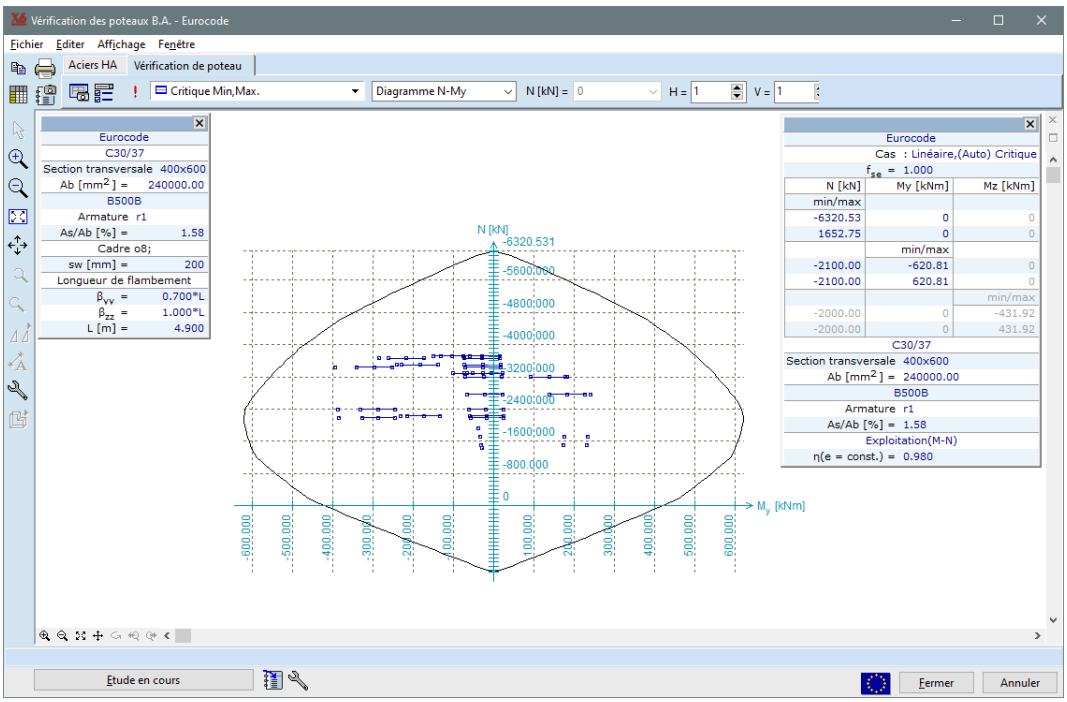


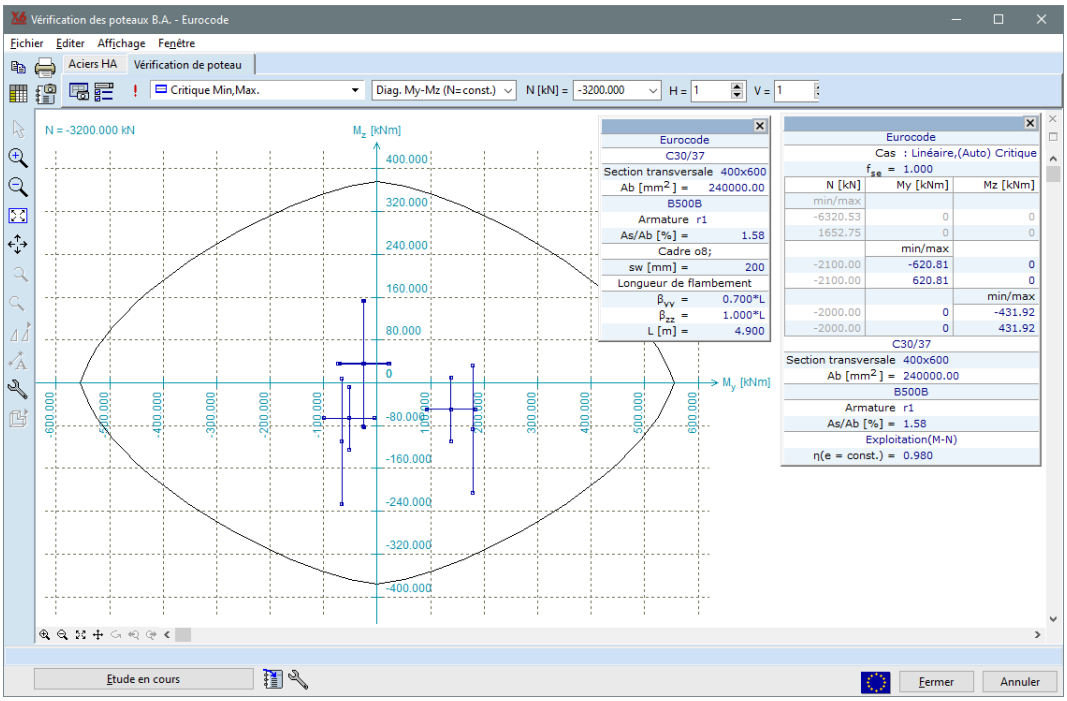
Diagramme N-M Affiche le diagramme d'interaction charge-moment force *Nx-My*, ou *Nx-Mz*.



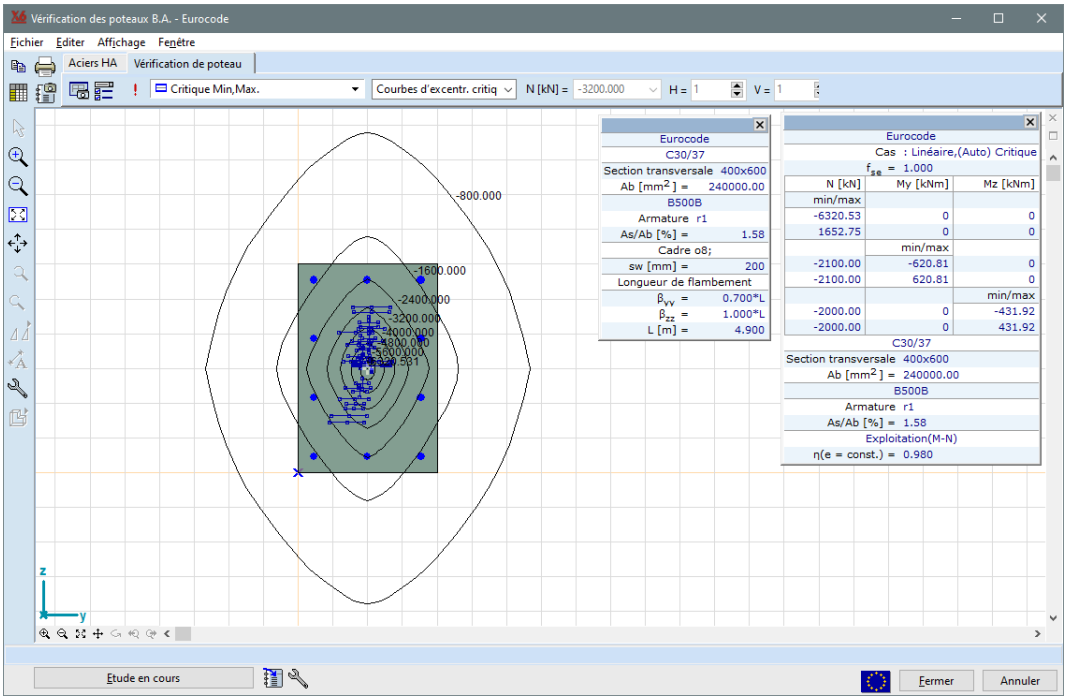
Ce mode d'affichage peut être utilisé avec des sections transversales symétriques. Vous pouvez afficher les valeurs d'étude des forces internes en activant la case à cocher *Écrire les valeurs*.

Les valeurs de calcul des forces internes sont affichées comme suit :

Diagramme My-Mz Affiche le diagramme d'interaction *My-Mz à* une valeur N donnée.

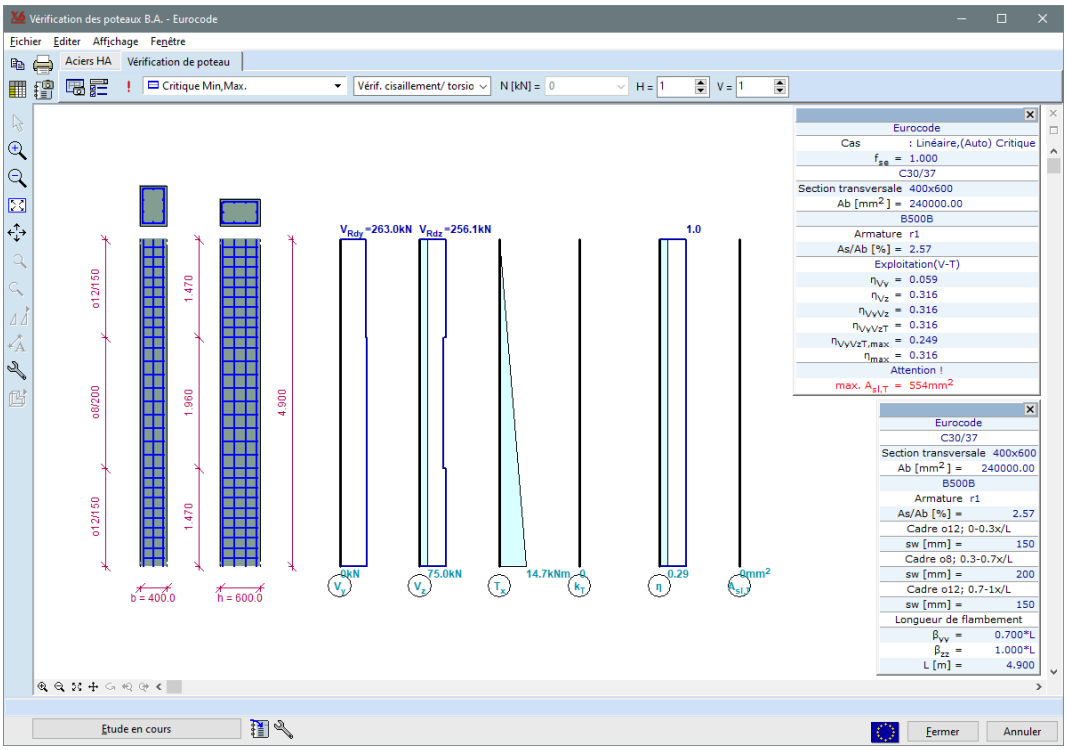


Courbes limites d'excentricité de la charge



Affiche les courbes limites d'excentricité de la charge basées sur $\frac{M_{y,Rd,i}}{N_i}$ ou $\frac{M_{z,Rd,i}}{N_i}$.

Contrôle des cisaillements/torsions



Les figures et diagrammes suivants sont affichés dans la fenêtre :

a) Dessin d'armature du poteau,
b) Les forces de cisaillement V_y et V_z s'accompagnent d'une résistance à l'effort tranchant (ligne bleue - sans torsion),
c) Moment de torsion T_x avec résistance à la torsion (ligne bleue),
d) Facteur k_T (exploitation des cadres pour la torsion) le long du poteau,
e) η exploitation maximale le long du poteau,
f) $A_{sl,T}$ a nécessité un renforcement longitudinal supplémentaire pour la torsion le long du poteau.

La vérification à l'effort tranchant et à la torsion ne peut être effectué que pour les sections transversales rectangulaires et circulaires.
En cas de résultats critiques ou d'enveloppe, les résultats pour une seule combinaison de charge (qui donne l'exploitation maximale) sont indiqués. Les résultats détaillés pour chaque combinaison de charge et chaque cas sont disponibles dans le tableau.
Afin d'augmenter la performance du calcul, le poteau est divisé en plusieurs sections transversales. Une nouvelle limite de section transversale est créée lorsque l'une des forces internes atteint la valeur min./max., lorsque les paramètres du cadre changent et lorsque le diagramme des forces internes V_y, V_z ou T_x change.
k_T, η et $A_{sl,T}$ les composantes du résultat sont calculées en bas et en haut de chaque section transversale. Les valeurs maximales ne sont indiquées que pour chaque section transversale de la fenêtre.
Voir... *6.5.9.5. Vérification à l'effort tranchant et à la torsion des poteaux en B.A.*

☞ **Les résultats détaillés de la vérification sont disponibles pour chaque section transversale, si le curseur est déplacé sur les lignes noires (représentent l'axe du poteau).**

Dispositions de fenêtres spécifiques

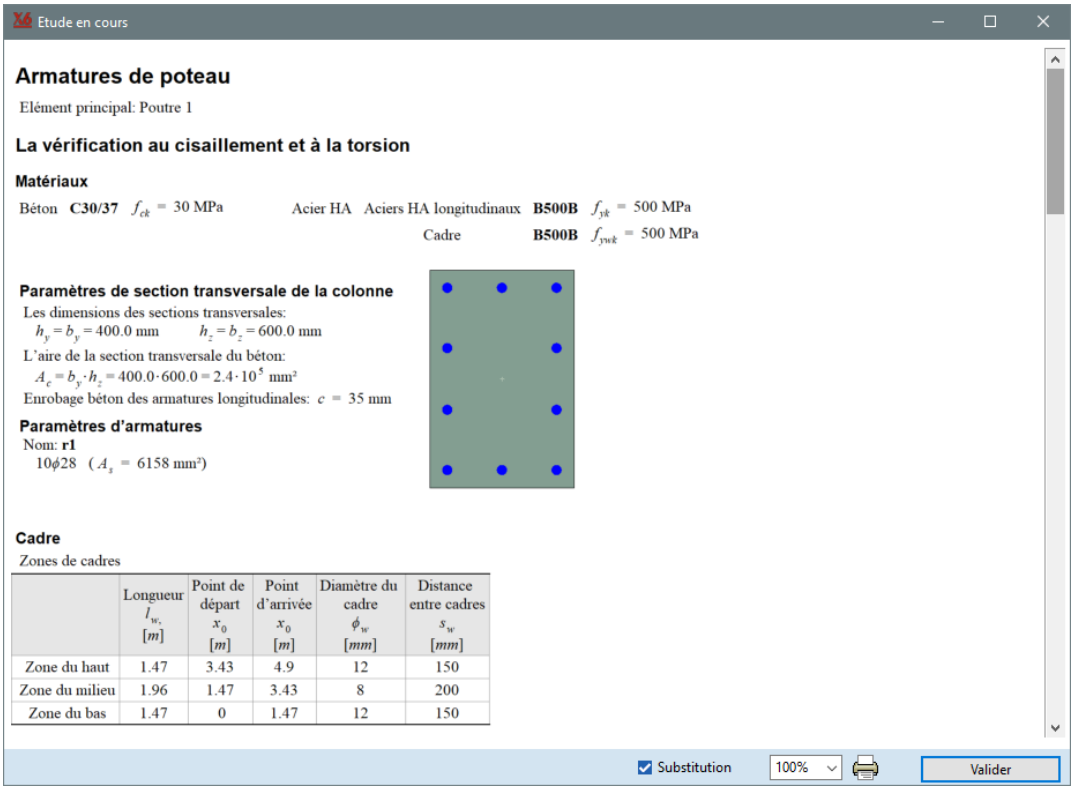
L'élément de menu Fenêtre / Dispositions spéciales des fenêtres offre différentes dispositions prédéfinies des fenêtres de résultats qui peuvent être personnalisées par l'utilisateur ultérieurement.

Calculs de conception

Les détails des calculs effectués selon la norme actuelle sont affichés sous la forme d'un document de plusieurs pages. Les références aux sections et aux formules de la norme apparaissent en bleu. Elle n'est disponible que si la vérification des colonnes est effectuée et que les résultats de la conception des colonnes sont disponibles.



En cliquant sur l'icône Paramètres à côté du bouton Calculs de conception, vous pouvez définir les unités de base pour la force et la longueur utilisées dans les calculs de conception. Il est également possible de sélectionner des calculs de conception plus détaillés.



	Longueur l_w [m]	Point de départ x_0 [m]	Point d'arrivée x_0 [m]	Diamètre du cadre ϕ_w [mm]	Distance entre cadres s_w [mm]
Zone du haut	1.47	3.43	4.9	12	150
Zone du milieu	1.96	1.47	3.43	8	200
Zone du bas	1.47	0	1.47	12	150

Règles de détail

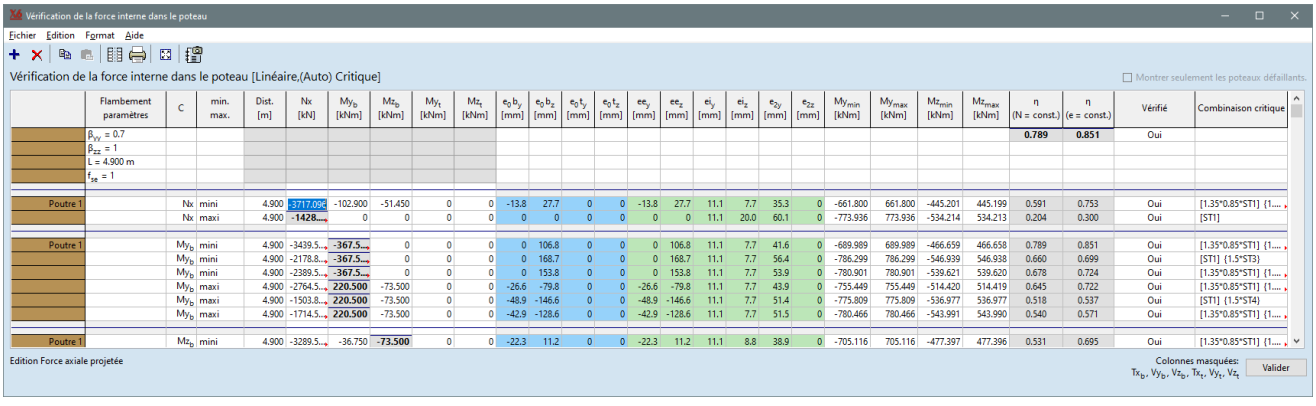
Le logiciel vérifie les règles de détail les plus critiques en fonction de la norme sélectionnée. Si les règles de détail ne sont pas respectées, le logiciel en avertit l'utilisateur dans des messages d'avertissement et dans les calculs de conception.

Valeurs d'exploitation en tableau

Les exploitations calculées sont disponibles sous forme de tableau. Si la surface N-M, le diagramme N-My, le diagramme N-Mz, le diagramme My-Mz ou le mode de déplacement des courbes d'excentricité critique est actif, les exploitations présentées sont liées à la vérification du poteau à la flexion avec ou sans force axiale. Si le mode d'affichage de la vérification de l'effort tranchant et de la torsion est actif, les résultats de la vérification à l'effort tranchant et à la torsion sont présentés.
Le tableau de contrôle des forces internes des poteaux contient les forces et les moments normaux maximums aux extrémités supérieure et inférieure des poteaux sélectionnées et différentes valeurs d'excentricité. Des poteaux supplémentaires affichant les valeurs maximales de la résistance du moment $My_{Rd,min}, My_{Rd,max}, Mz_{Rd,min}, Mz_{Rd,max}$ au *Nx* donné sont également disponibles.

Exploitation - flexion avec ou sans force axiale

Le programme calcule deux types d'exploitation. La première est *ε (N = const.)*, l'exploitation du moment : elle est définie sur le diagramme *My-Mz* comme le rapport entre la distance du point de force d'étude par rapport à l'origine et la distance du point d'intersection de la courbe et de la demi-ligne tracée depuis l'origine par le même point depuis l'origine. La seconde est *ε (e = const.)* l'exploitation pour l'excentricité constante.
Il est défini dans l'espace *N-My-Mz* comme le rapport entre la distance du point de force nominale de l'origine et la distance du point d'intersection de la surface N-M et de la demi-ligne tracée de l'origine au même point de l'origine.

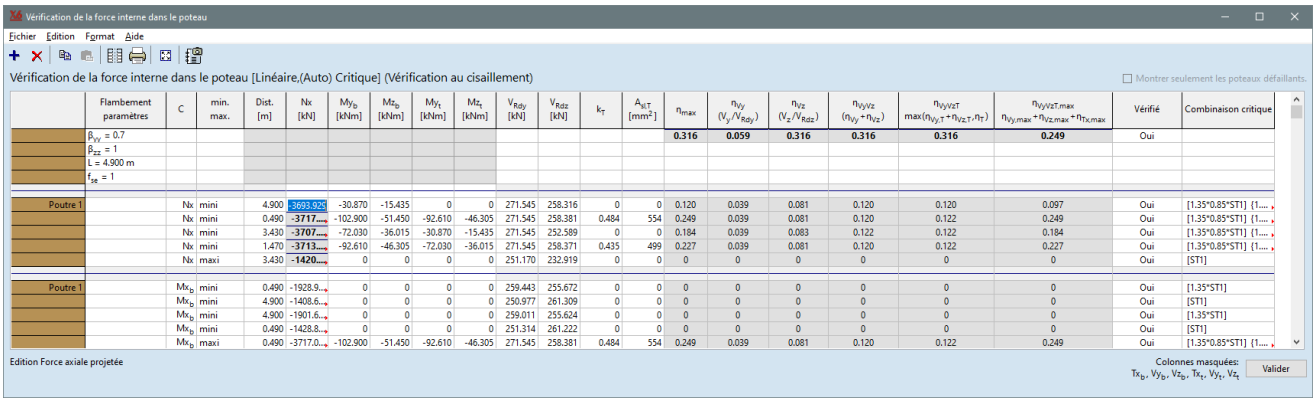


Exploitation – Effort tranchant /torsion

Le programme montre les exploitations suivantes dans le tableau :

- η_{Vy}: Exploitation de l'effort tranchant dans la direction y locale sans torsion.
- η_{Vz}: Exploitation de l'effort tranchant dans la direction locale z sans torsion.
- η_{VyVz}: Exploitation globale de l'effort tranchant sans torsion.
- η_{VyVzT}: Exploitation globale avec interaction d'effort tranchant et de torsion.
- $\eta_{VyVzT,max}$: Exploitation de la bielle de compression du béton.
- η_{max}: Exploitation maximale (valeur maximale des exploitations énumérées ci-dessus).

Outre les exploitations, le programme énumère les résistances à l'effort tranchant liées aux axes locaux y et z, le facteur de réduction de la résistance à l'effort tranchant des cadres due à la torsion et l'armature longitudinal supplémentaire requis pour la torsion.
voir... *6.5.9.5. Vérification à l'effort tranchant et à la torsion des poteaux en B.A.*



Monter seulement les poteaux défaillants

Cochez cette option pour n'afficher que les poteaux qui ont échoués.

Personnalisation des forces internes dans le tableau des résultats

Ajoute de nouvelles forces internes personnalisées à la table : En cliquant sur ce bouton, de nouvelles forces internes personnalisées peuvent être attribuées à la colonne. Le logiciel enregistre ces forces internes et il prend en compte ces valeurs dans la vérification de la conception de la colonne avec les forces internes provenant de l'analyse.

Supprime les lignes sélectionnées du tableau.

Collage personnalisé Des forces internes à partir du presse-papiers

Les forces internes personnalisées peuvent également être collées dans le tableau à partir du presse-papiers. Si l'option Coller les lignes à la fin est sélectionnée, le tableau précédemment copié dans le presse-papiers doit être composé d'exactement 11 colonnes selon le nombre et l'ordre des colonnes de forces internes dans le tableau de résultat *(N_x, M_{ya}, M_{za}, M_{yf}, M_{zf}, T_{xa}, V_{ya}, V_{za}, T_{xf}, V_{yf}, V_{zf})*.). Le même nombre de colonnes et de lignes doit être sélectionné dans le tableau de résultat que celui du tableau copié si l'option *Ecraser le tableau à partir de la cellule courante* est sélectionnée.

Composantes du résultat

Si le modèle contient des poteaux en béton armé avec des armatures réelles, de nouveaux composants de résultats sont disponibles sous l'onglet Etude B.A.. Ces nouveaux composants de résultats montrent les valeurs d'exploitation calculées et les armatures longitudinales supplémentaires requises en raison de la torsion:

- Utilisation N-M,
- Utilisation V-T,
- Asl,T (armature longitudinale supplémentaire requise en raison de la torsion),
- Exploitation maximale (la plus grande des utilisations N-M et V-T).

Résultats dans le Navigateur de tableaux

Les résultats de conception sont également disponibles dans le navigateur de tableaux (voir... *2.9 Navigateur de tableau*) où les résultats de chaque colonne en béton armé sont disponibles dans des tableaux récapitulatifs.

6.5.9.1. Calcul de l'excentricité

Le calcul de l'excentricité dans AxisVM est basé sur une méthode qui suppose que la valeur des moments de flexion le long du poteau est la somme des moments de flexion du premier ordre, des moments de flexion dus aux imperfections géométriques et des moments de flexion du second ordre (EN 1992-1-1 5.8.8.2). Toutes les sections transversales le long du poteau peuvent être critiques.

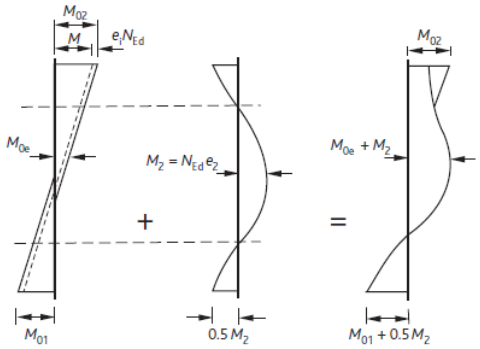
$$M_{Ed} = M_0 + M_i + M_2$$

Où

M_0 Moment de flexion de premier ordre

M_i Moment de flexion dû à des imperfections géométriques

M_2 Moment de flexion de second ordre



(*A. J. Bond et al., How to Design Concrete Structures using Eurocode 2. UK, 2006*)

Selon cette méthode, la vérification d'une colonne avec des conditions limites arbitraires peut être effectuée si les moments de flexion sont disponibles dans chaque section transversale.

Moments de flexion de premier ordre

AxisVM analyse le diagramme des moments de flexion de premier ordre le long du poteau et divise le poteau en fonction du nombre de moments extrêmes. De cette façon, l'effet des forces intermédiaires sur le poteau peut être pris en compte. Les moments de flexion entre les valeurs extrêmes sont déterminés par interpolation linéaire.

Moments de flexion dus à des imperfections

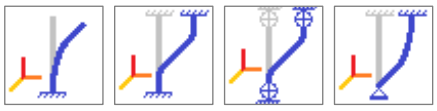
Dans le cas d'éléments contreventés (formes de flambement sans balancement), les moments de flexion dus aux imperfections géométriques sont considérés comme constants le long du poteau car 1) l'axe des poteaux des différents étages n'est pas nécessairement colinéaire, 2) si le poteau a des connexions rigides, une courbure locale provoque le même moment de flexion *(N-ei)* aux extrémités qu'au milieu mais de signe opposé.

Formes de flambement des éléments de contreventement :



Dans le cas de formes de flambement par balancement, le diagramme du moment de flexion linéaire est supposé le long de la poutre s'il est spécifié dans le code.

Formes de flambement des éléments de balancement :



Si les imperfections globales sont prises en compte par des charges supplémentaires agissant sur la structure, elles doivent être ignorées dans le calcul de l'armature des poteaux. Pour ce faire, il convient de cocher la case Imperfections *locales uniquement*. Si une forme de flambement par oscillation est sélectionnée, seule une imperfection géométrique locale constante est prise en compte (calculée avec un facteur de flambement $\beta \leq 1.0$).

Moments de second ordre

Sur la base du code d'étude sélectionné, les moments de second ordre sont calculés à partir des moments de flexion de premier ordre (prolongés par les moments de flexion dus aux imperfections) ou sur la base de la forme de flambement. La première méthode de calcul est appelée méthode de rigidité nominale, tandis que la seconde est la méthode de courbure nominale.

Méthode de la courbure nominale

Les moments de second ordre sont calculés avec des fonctions trigonométriques en supposant que le moment de flexion à l'amplitude maximale est égal à N-e2. L'amplitude maximale est obtenue en fonction de la forme de flambement choisie (voir... *6.5.4. Paramètres d'armatures de flexion bi-axiale (poteau)*).



1) $e_2 = \sin\left(\frac{\pi x}{L}\right) e_{2,0}$



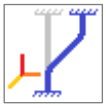
2) $e_2 = \cos\left(\frac{\pi x}{2L}\right) e_{2,0}$



3) $e_2 = \cos\left(\frac{3\pi x}{2L}\right) e_{2,0}$



4) $e_2 = \cos\left(\frac{2\pi x}{L}\right) e_{2,0}$



5) $e_2 = \cos\left(\frac{\pi x}{L}\right) e_{2,0}$



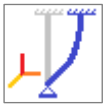
6) $e_2 = \left[1 - \frac{\beta - 0.5}{0.5}\right] \cos\left(\frac{2\pi x}{L}\right) e_{2,0} - \left[1 - \frac{1 - \beta}{0.5}\right] \sin\left(\frac{\pi x}{L}\right) e_{2,0}$



7) $e_2 = \cos\left(\frac{\pi x}{L}\right) e_{2,0}$



8) $e_2 = \cos\left(\frac{3\pi x}{2L} + \frac{\pi}{2}\right) e_{2,0}$



9) $e_2 = \cos\left(\frac{\pi x}{2L} + \frac{\pi}{2}\right) e_{2,0}$

$e2_{,0}$ est l'amplitude maximale de l'excentricité de second ordre.

Méthode de la rigidité nominale

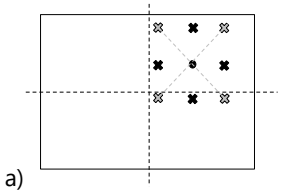
Cette méthode ne tient pas compte de la forme du flambement. La somme des moments de flexion de premier ordre et des moments de flexion dus aux imperfections est multipliée sur la base du rapport entre la force normale d'étude et la force de flambement. Pour plus de détails, voir la norme EN 1992-1-1. Les les Annexes Nationales-s néerlandais et danois exigent l'application de cette méthode.

Excentricité minimale

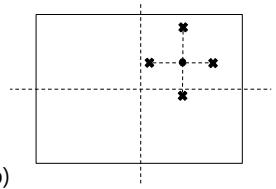
Les normes exigent généralement la prise en compte d'une excentricité minimale si l'excentricité calculée est inférieure à cette limite. Dans AxisVM, si la somme de l'excentricité du premier ordre, de l'excentricité due aux imperfections et de l'excentricité du second ordre n'atteint pas le minimum, l'excentricité due aux imperfections est augmentée afin de garantir que la somme des excentricités n'est pas inférieure au minimum

La flexion biaxiale

Une colonne en béton armé est généralement soumise à une flexion biaxiale car les imperfections géométriques et les excentricités de second ordre peuvent être considérées dans les deux directions principales. Le centre de la croix représente la somme de l'excentricité du premier ordre et de l'excentricité due aux imperfections géométriques. Les excentricités du second ordre sont considérées avec le signe +/-. Les excentricités du second ordre peuvent être considérées dans les deux directions y et z simultanément (a) ou indépendamment (b) (A. W. Beeby, R. S. Narayanan (2009): *Guide du concepteur pour l'Eurocode 2: Étude de structures en béton*). (voir... *6.5.4. Paramètres d'armatures de flexion bi-axiale (poteau)*)



a)

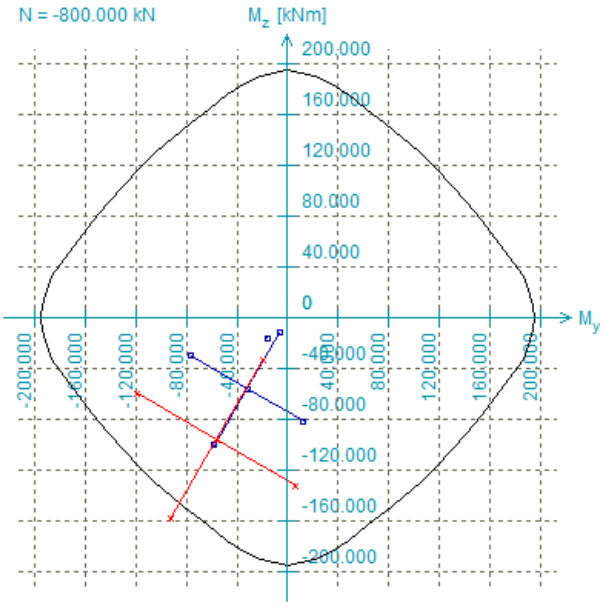


b)

☞ **Note : Les chiffres et les illustrations de cette section transversale ont été sauvegardés en tenant compte du cas (b). Si les excentricités du second ordre étaient considérées simultanément (cas (a)), les figures et illustrations montreraient une représentation différente des excentricités.**

Poteaux à double symétrie

Les poteaux BA à double symétrie, de forme circulaire ou carrée, sont très courant dans la pratique. Si Iy = Iz pour la section transversale et le renforcement et que les conditions aux limites sont également identiques dans les directions y et z, les excentricités du second ordre ne sont appliquées ni dans la direction y ni dans la direction z mais en fonction des moments de flexion du premier ordre résultants à la section transversale critique pour le flambement.



6.5.9.2. Contrôle des poteaux B.A. selon l'Eurocode 2 (flexion avec force axiale)

Les moments d'étude dans les directions de flexion sont $M_d = N_d \cdot e_d$
Où Nd est la force normale dans le poteau et $e_d = e_e e_i e_2$ est l'excentricité critique dans la direction de flexion donnée. Excentricité minimale : max (20 mm, h/30).

e_e Est l'**excentricité initiale** calculée à partir de la force et du moment de premier ordre.
Excentricités initiales aux extrémités de la section transversale enquêtée :

$$e_e = M_I / N_d$$

Excentricités initiales à la section transversale intermédiaire de la section transversale étudiée (excentricité équivalente):

$$e_e = \max\begin{Bmatrix} 0.6 \cdot e_a + 0.4 \cdot e_b \\ 0.4 \cdot e_a \end{Bmatrix} \text{ and } |e_a| \geq |e_b|,$$

Où e_a et e_b sont les excentricités initiales aux extrémités de la section transversale enquêtée.

e_i Est l'**excentricité des imperfections géométriques.**
$e_i = \alpha_h \Theta_0 \frac{l_0}{2}$ où l_0 est la longueur de flambement, $\alpha_h = 2/\sqrt{l}$ et $\frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1$où l est la hauteur du poteau.
Θ_0 - selon les Annexes Nationales du code sélectionné.

e_2 Est l'**excentricité de second ordre.**
L'excentricité de second ordre est prise en compte si $\lambda \geq \lambda_{lim} = 20\frac{ABC}{\sqrt{n}}$ où

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c f_{cd}} \qquad A = \frac{1}{1+0.2\varphi_{ef}}, \qquad B = \sqrt{1+2\omega}, \qquad \omega = \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}},$$

C, est une constante qui peut être modifiée dans la fenêtre Normes.

☞ **Le calcul de λlim peut être différent selon le les Annexes Nationales du code sélectionné !**

Dans le cas de la norme DIN EN 1992-1-1: $n < 0.41 \rightarrow \lambda_{lim} = \frac{16}{\sqrt{n}}; n > 0.41 \rightarrow \lambda_{lim} = 25.0$

En cas de code italien : $\lambda_{lim} \frac{25}{\sqrt{n}}$

Dans le cas de la norme NS EN 1992-1-1: $\lambda_n = \sqrt{\frac{n}{1+k_a\omega}} \geq \lambda_{n,lim} = 13A_\varphi$

La méthode de calcul prescrite de e_2 peut être la méthode de la courbure nominale ou la méthode de la rigidité nominale selon les Annexes Nationales du code sélectionné. Dans certaines Annexes Nationales, l'application des deux méthodes est autorisée. Dans ces cas, la méthode de la courbure nominale est appliquée.

Méthode de la courbure nominale

$e_2 = \frac{1}{r}\frac{l_0^2}{c}$

Où $\frac{1}{r} = K_r K_\varphi \frac{f_{yd}}{E_s \cdot 0.45 \cdot d'}$

$8 \le c \le \pi^2$ Basé sur le diagramme du moment de flexion de premier ordre

$K_r = \min\left\{\frac{N_u' - N_{Ed}}{N_u' - N_{bal}}; 1.0\right\}$, $K_\varphi = \max\{1 + \beta\varphi_{ef}; 1.0\}$,

$\beta = 0.35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda}{150}$Où f_{ck} est en N/mm2

$d' = \frac{h}{2} - i_s$ Où i_s est le rayon d'inertie de l'armature longitudinale

Méthode de la rigidité nominale

$e_2 = (e_e + e_i)\left[1 + \frac{\beta}{N_B/N_d - 1}\right]$,

où $\beta = \frac{\pi^2}{c}$

N_B Est la charge de flambement basée sur la rigidité nominale

$EI = K_c E_{cd} I_c K_s E_s I_s$ Est la rigidité nominale, où

E_{cd} Est la valeur de calcul du module d'élasticité du béton, voir 5.8.6 (3)

I_c Est le moment d'inertie de la section transversale du béton

E_s Est la valeur de calcul du module d'élasticité de l'armature, 5.8.6 (3)

I_s Est le deuxième moment de la zone d'armature, à peu près au centre de la zone du béton

K_c Est un facteur pour les effets de fissuration, d'élasticité, etc., voir 5.8.7.2. (2), (3)

K_s Est un facteur de contribution à l'armature, voir 5.8.7.2. (2), (3)

Les excentricités sont déterminées dans les deux plans de flexion. Le programme vérifie les situations d'étude suivantes :

$\lambda_y/\lambda_z \le 2$ et $\lambda_z/\lambda_y \le 2$,

$\frac{e_{dy}/b_{eq}}{e_{dz}/h_{eq}} \le 0{,}2$ ou $\frac{e_{dz}/h_{eq}}{e_{dy}/b_{eq}} \le 0{,}2$ *

si $e_{dy}/b_{eq} > e_{dz}/h_{eq}$

$M_{dy,1} = 0$

$M_{dz,1} = -N_d(e_{ey} + e_{iy} \pm e_{2y})$

Sinon

$M_{dy,2} = N_d(e_{ez} + e_{iz} \pm e_{2z})$

$M_{dz,2} = 0$

Sinon

$M_{dy,1} = N_d(e_{ez} + e_{iz})$

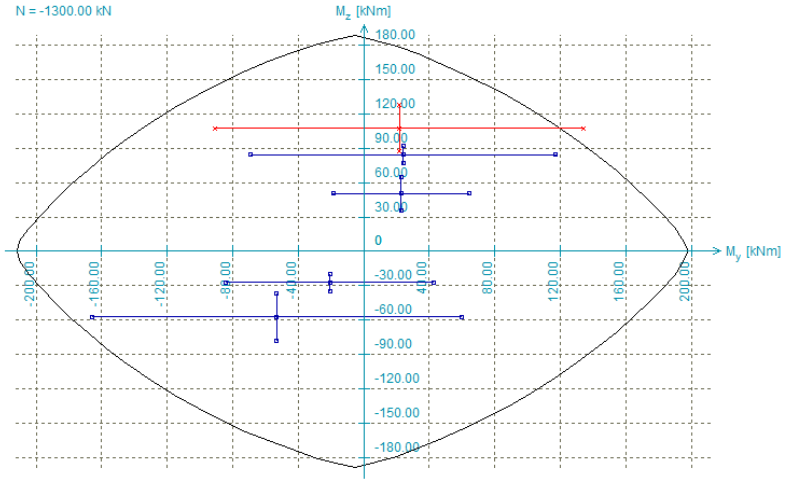
$M_{dz,1} = -N_d(e_{ey} + e_{iy} \pm e_{2y})$

$M_{dy,2} = N_d(e_{ez} + e_{iz} \pm e_{2z})$

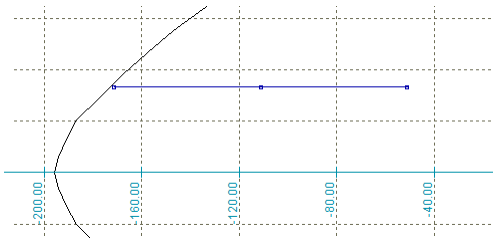
$M_{dz,2} = -N_d(e_{ey} + e_{iy})$

* sauf DIN EN 1992-1-1 les Annexes Nationales

AxisVM vérifie si les charges d'étude calculées *(Mdy, Mdz, Nd)* se trouvent à l'intérieur du diagramme d'interaction des forces N-M. S'il n'est pas satisfait dans l'une des situations d'étude, le poteau avec la section transversale et l'armature donnée cède.

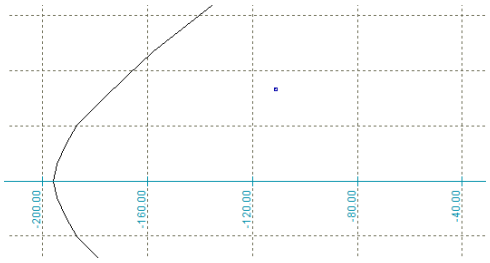


Les situations suivantes peuvent se produire:



Raisons possibles :

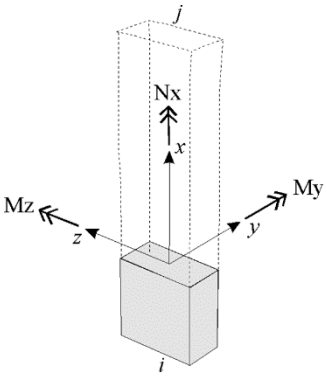
- L'élancement lié au flambement autour de l'axe y ou z est inférieur à la valeur limite λ_{lim};
- Aux extrémités libres ou aux extrémités avec des appuis articulés, le moment de second ordre est nul ;
- En cas de flexion biaxiale, si les critères sont remplis, les excentricités sont indiquées uniquement dans la direction concernée ;
- La prise en compte de l'excentricité de second ordre est désactivée autour d'un axe.



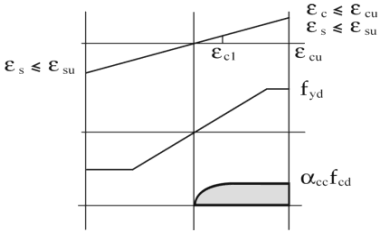
Raisons possibles :

- L'élancement lié au flambement autour des axes y et z est inférieur à la valeur limite λ_{lim};
- Aux extrémités libres ou aux extrémités avec des appuis articulés, le moment de second ordre est nul ;
- La prise en compte de l'excentricité de second ordre est désactivée pour les deux axes.

Sur les diagrammes d'interaction des forces de *RMN* et sur les courbes limites d'excentricité des charges, des points représentent ces charges d'étude. Ces points seront affichés dans les diagrammes d'interaction des forces de *RMN* et dans les courbes limites d'excentricité des charges.



Le calcul repose sur les hypothèses suivantes :



σ, desε diagrammes :

☞ ***Les aciers HA longitudinaux plus fins que 1/15 de la distance entre les cadres seront ignorés pour la compression.***

6.5.9.3. Contrôle des poteaux en B.A. selon la norme DIN1045-1 (flexion avec force axiale)

Les moments d'étude dans les directions de flexion sont $M_d = N_d \cdot e_d$
Où Nd est la force normale dans le poteau et $e_d = e_0 e_a e_2$ est l'excentricité critique dans la direction de flexion donnée.
Excentricité minimale : h/20.

e_0 Est l'**excentricité initiale** calculée à partir de la force et du moment de premier ordre.
Excentricités initiales aux extrémités de la section transversale enquêtée :

$$e_0 = M_I/N_d$$

Excentricités initiales à la section transversale intermédiaire de la section transversale étudiée (excentricité équivalente):

$$e_0 = \max\begin{Bmatrix}0.6 \cdot e_a + 0.4 \cdot e_b \\ 0.4 \cdot e_a\end{Bmatrix} \; and \; |e_a| \geq |e_b|,$$

Où e_a et e_b sont les excentricités initiales aux extrémités de la section transversale enquêtée.

e_a Est l'**excentricité des imperfections géométriques.**
$e_a = \frac{\alpha_{a1} l_0}{2}$,
Où l_0 est la longueur de flambement, $\alpha_{a1} = \frac{1}{100\cdot\sqrt{l}} \leq \frac{1}{200}$où l est la hauteur du poteau,

$\lambda_{max} = \max\left\{25\,; \frac{16}{\sqrt{\frac{N_d}{A_c f_{cd}}}}\right\}$,
si $\lambda \geq \lambda_{max}$, il faut alors envisager une excentricité de second ordre.

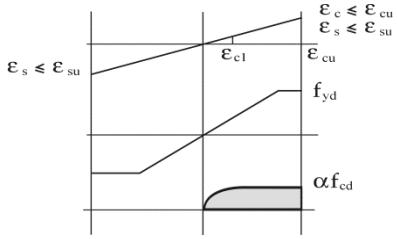
e2: **incrément de second ordre de l'excentricité.**
$e_2 = K_1 \frac{1}{r} \frac{l_0^2}{10'}$
Où $\frac{1}{r} = K_2 \frac{2\cdot f_{yd}}{E_s \cdot 0.9 \cdot d}$, $K_1 = \min\left\{\frac{\lambda}{10} - 2.5; 1.0\right\}$, $K_2 = \frac{N_{ud} - N_d}{N_{ud} - N_{bal}} \leq 1.0$
d est la hauteur efficace de la section transversale

Les excentricités sont déterminées dans les deux plans de flexion. Le programme vérifie les situations d'étude suivantes :

$$M_{dy,1} = N_d(e_{0z} + e_{az})$$
$$M_{dz,1} = -N_d(e_{0y} + e_{ay} \pm e_{2y})$$
$$M_{dy,2} = N_d(e_{0z} + e_{az} \pm e_{2z})$$
$$M_{dz,2} = -N_d(e_{0y} + e_{ay})$$

AxisVM vérifie si les charges d'étude calculées (Mdy, Mdz, Nd) se trouvent à l'intérieur du diagramme d'interaction des forces N-M. S'il n'est pas satisfait dans l'une des situations d'étude, le poteau avec la section transversale et l'armature donnée cède.

Le calcul repose sur les hypothèses suivantes : σ,ε diagrammes



☞ ***Les aciers HA longitudinaux plus fins que 1/15 de la distance entre les cadres seront ignorés pour la compression.***

6.5.9.4. Contrôle des poteaux en B.A. selon la norme SIA 262 (flexion avec force axiale)

Les moments d'étude dans les directions de flexion sont $M_d = N_d \cdot e_d$
Où Nd est la force normale dans le poteau et $e_d = e_{1d} e_{0d} e_{2d}$ est l'excentricité critique dans la direction de flexion donnée.

e_{0d}: **augmentation due à des imperfections géométriques**
$e_{0d} = \max\left\{\alpha_i \frac{l_{cr}}{2}; \frac{d}{30}\right\}$
Où $\frac{1}{200} \geq \alpha_i = \frac{0.01}{\sqrt{l}} \geq \frac{1}{300}$
l_{cr} est la longueur de flambement, l, est la longueur efficace, *d est la* hauteur efficace de la section transversale.

e_{1d} Est l'**excentricité initiale** calculée à partir de la force et du moment de premier ordre.
Excentricités initiales aux extrémités de la section transversale enquêtée :

$$e_{1d} = M_I/N_d$$

Excentricités initiales à la section transversale intermédiaire de la section transversale étudiée (excentricité équivalente):

$$e_{1d} = \max\begin{Bmatrix} 0.6 \cdot e_a + 0.4 \cdot e_b \\ 0.4 \cdot e_a \end{Bmatrix} \; and \; |e_a| \geq |e_b|,$$

Où e_a et e_b sont les excentricités initiales aux extrémités de la section transversale enquêtée.

e_2: **L'augmentation du second ordre de l'excentricité.**

$e_{2d} = \chi_d \frac{l_{cr}^2}{\pi^2}$,

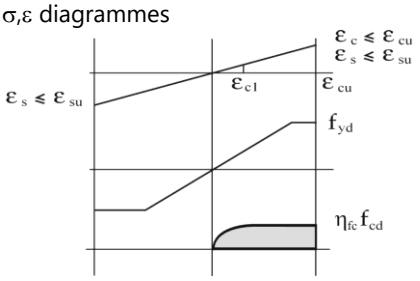
Où $\chi_d = \frac{2f_{sd}}{E_s(d-d')}$ si l'option de courbure approximative est cochée, sinon $\chi_d = \frac{\varepsilon_{sd}-\varepsilon'_{sd}}{d-d'}\frac{|\varepsilon_{c,\infty}|}{d}$.
Les excentricités sont déterminées dans les deux plans de flexion. Le programme vérifie les situations d'étude suivantes :

$$M_{dy,1} = N_d(e_{1z} + e_{0z})$$
$$M_{dz,1} = -N_d(e_{1y} + e_{0y} \pm e_{2y})$$
$$M_{dy,2} = N_d(e_{1z} + e_{0z} \pm e_{2z})$$
$$M_{dz,2} = -N_d(e_{1y} + e_{0y})$$

AxisVM vérifie si les charges d'étude calculées *(Mdy, Mdz, Nd)* se trouvent à l'intérieur du diagramme d'interaction des forces N-M. S'il n'est pas satisfait dans l'une des situations d'étude, le poteau avec la section transversale et l'armature donnée cède.

Le calcul repose sur les hypothèses suivantes :

σ,ε diagrammes



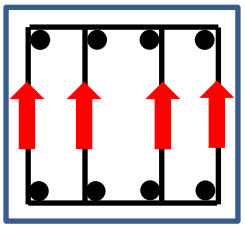
☞ ***Les aciers HA longitudinaux ne seront pas pris en compte pour la compression si l'un des critères suivants est rempli (s est la distance entre les cadres):***

∅ < 8, s > 15 , s > ∅amin, s > *300 mm*

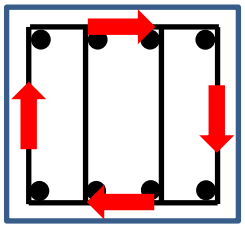
6.5.9.5. Vérification à l'effort tranchant et à la torsion des poteaux en B.A.

Facteur de réduction de la résistance à l'effort tranchant des cadres due à la torsion (k_T)

Selon les normes et les manuels d'étude, l'armature transversale ne peut pas être pleinement utilisé respectivement pour l'effort tranchant et la torsion. Pour cette raison, le programme calcule l'exploitation des cadres en considérant uniquement les effets de torsion (k_T) et il calcul une résistance à l'effort tranchant réduite pour les cadres contre l'effort tranchant, le facteur de réduction considéré est de 1 - k_T (utilisé uniquement pour les cadres externes).
Cette résistance à l'effort tranchant réduite est utilisée pour le calcul de l'exploitation globale avec l'interaction effort tranchant et torsion (η_{VyVzT}). Respectivement, les forces d'équilibre dans les cadres contre les effets de l'effort tranchant et de torsion :



Effort tranchant Vz



Moment de torsion de la Tx

Si l'exploitation des cadres considérés uniquement en torsion (k_T) dépasse 1,0, la résistance des cadres ne peut pas être considérée contre l'effort tranchant. Dans ces cas, l'exploitation globale avec l'interaction effort tranchant et torsion est η_{VyVzT} qui ne peut pas être calculée est marqué avec le symbole **???**

La torsion n'est prise en compte par la vérification que si le moment de torsion influence considérablement la résistance à l'effort tranchant (k_T > 0,01), si le moment de torsion dépasse 1 % du moment de fissuration par torsion, ou si la condition suivante est remplie :

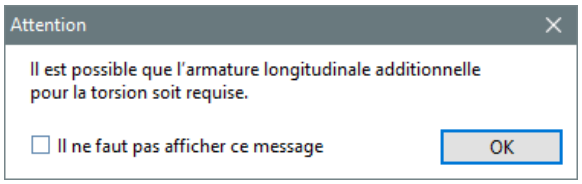
$$\frac{V_{y,E}}{V_{y,R,c}} + \frac{V_{z,E}}{V_{z,R,c}} + \frac{T_{x,E}}{T_{x,R,c}} > 1$$

Où $V_{y,R,c}$, $V_{z,R,c}$ et $T_{x,R,c}$ sont la résistance à l'effort tranchant du béton liée respectivement aux axes locaux *y* et *z et* le moment de fissuration en torsion,. Sinon, la réduction de la résistance à l'effort tranchant des cadres due à la torsion n'est pas prise en compte *(k_T = 0)*.

Autres Armatures longitudinales nécessaire à la torsion ($A_{sl,T}$)

Dans le cas d'une poutre ou d'un poteau en béton armé, une armature longitudinale est également requise contre le moment de torsion si la condition ci-dessus est satisfaite. Cette armature longitudinale doit être répartie sur la longueur des côtés de la section transversale. L'armature de flexion ne peut pas être considéré contre la torsion.
Les effets de torsion ne sont généralement pas considérables dans le cas des poteaux, l'armature longitudinale en torsion ne peut être définie. Le programme calcule qu'une armature longitudinale supplémentaire peut être nécessaire en raison de la torsion.

☞ **Si une armature longitudinale supplémentaire est nécessaire, un message d'avertissement apparaît. Si l'option *Ne pas afficher ce message* est cochée, le message n'est pas affiché lorsque la fenêtre *Vérifier les poteaux de béton* est ouverte.**



Exploitation globale de l'effort tranchant sans torsion (η_{VyVz})

Section transversale de poteau rectangulaire :

$$\eta_{VyVz} = \frac{V_{y,E}}{V_{y,R}} + \frac{V_{z,E}}{V_{z,R}} \leq 1$$

Où $V_{y,E}$ et $V_{z,E\ sont}$ les forces de cisaillement calculées par rapport aux axes locaux y et z, tandis que $V_{y,R}$ et $V_{z,R}$ sont les résistances à l'effort tranchant par rapport aux axes locaux respectifs *y* et *z*.
Dans le cas de sections transversales circulaires, le programme calcule l'effort tranchant résultant à partir de $V_{y,E}$ et $V_{z,E}$. l'effort tranchant résultant est comparé à la résistance à l'effort tranchant de la section transversale calculée dans la direction de la résultante:

$$\eta_{VyVz} = \frac{\sqrt{V_{y,E}^2 + V_{z,E}^2}}{V_R} \leq 1$$

Exploitation globale avec interaction effort tranchant et torsion (η_{VyVzT})

L'exploitation de η_{VyVzT} est évaluée de la même manière que celle de $\eta_{VyVz,}$ mais dans ce cas, la résistance des cadres externes est réduite d'un facteur *(1 - k_T)* basé sur l'exploitation en torsion.
La torsion n'est prise en compte par la vérification que si le moment de torsion influence considérablement la résistance à l'effort tranchant *(kT > 0,*01), si *le* moment de torsion dépasse 1% du moment de fissuration par torsion, ou si la condition suivante est remplie :

$$\frac{V_{y,E}}{V_{y,R,c}} + \frac{V_{z,E}}{V_{z,R,c}} + \frac{T_{x,E}}{T_{x,R,c}} > 1$$

Exploitation de la bielle de compression du béton ($\eta_{VyVzT,max}$)

En cas de vérification à l'effort tranchant et à la torsion, la résistance ne peut pas dépasser respectivement une valeur d'effort tranchant et de moment de torsion, , liée à la rupture de la bielle de compression du béton. Si les efforts tranchants et les moments de torsion sont tous deux présents, l'effet de l'interaction entre l'effort tranchant et la torsion doit être pris en compte dans le calcul de l'exploitation de la bielle de compression du béton.

Section transversale de poteau rectangulaire :

$$\eta_{VyVzT,max} = \frac{V_{y,E}}{V_{y,R,max}} + \frac{V_{z,E}}{V_{z,R,max}} + \frac{T_{x,E}}{T_{x,R,max}} \leq 1$$

Dans le cas de sections transversales circulaires, le programme calcule l'effort tranchant résultant à partir de $V_{y,E}$ et $V_{z,E}$. L'effort tranchant résultant est comparée à l'effort tranchant de la section transversale calculée dans la direction de la résultante. L'exploitation est calculée comme suit :

$$\eta_{VyVzT,max} = \frac{\sqrt{V_{y,E}^2 + V_{z,E}^2}}{V_{R,max}} + \frac{T_{x,E}}{T_{x,R,max}} \leq 1$$

Si $\eta_{VyVzT,max}$ dépasse 1,0, la résistance de la section transversale ne peut être augmentée qu'en changeant de classe de béton ou en augmentant les dimensions de la section transversale.

Résistance à l'effort tranchant de la section transversale circulaire

Le calcul de la résistance à l'effort tranchant des poteaux en béton armé à section transversale circulaire est essentiellement identique au calcul effectué dans le cas de sections transversales rectangulaires, il n'y a que peu de modifications. Pour plus d'informations, nous vous recommandons de faire les recherches suivantes : John Orr – « *Shear Capacity of Circular Concrete Sections.. »*

Principales différences prises en compte dans le calcul :

a) Par le calcul de la résistance à l'effort tranchant du béton *($V_{y/z,R,c}$)* et de la résistance au cisaillement d'étude maximale *($Vy/z_{,R,max}$)*, on utilise 0,8D comme largeur de la section transversale, où D est le diamètre.

b) Dans le cas des cadres circulaires, un facteur de réduction *($\lambda 1$)* est utilisé pour le calcul de la résistance au cisaillement, car les cadres ne sont pas parallèles à l'effort tranchant sur la hauteur de la section transversale. Le facteur λ_1 est calculé de la manière suivante [Turmo et. al (2008): *Analogie de la poutre de cisaillement pour les éléments en béton de sections circulaires pleines et creuses*] [J. Orr (2009): *Analogie de la poutre de cisaillement pour les éléments en béton de sections circulaires pleines et creuses*], où *z0 est* la distance entre le centre de l'armature de traction et le centre de gravité de la section transversale, *z* est le bras de levier et *rs* est la distance entre l'armature du cadre central et le centre de gravité de la section transversale:

$$\lambda_1 = \int_0^1 \sqrt{1 - ((z_0 - zX)/r_s)^2}\,dX$$

c) Dans le cas des cadres en spirale, un autre facteur de réduction est également utilisé pour considérer que la composante verticale de la force de résistance n'est pas parallèle à l'effort tranchant. Le facteur λ_2 est calculé de la manière suivante [I. Feltham (2004): *Cisaillement dans les pieux et les poteaux circulaires en béton armé]*, où p est le pas du cadre en spirale:

$$\lambda_2 = \left(\left(\frac{p}{2\pi r_s}\right)^2 + 1\right)^{-0.5}$$

Bras de levier

Lors du calcul de la résistance à l'effort tranchant d'une section transversale en béton armé, le bras de levier (z) des forces internes joue un rôle important. Le bras de levier est interprété comme la distance entre le centre de l'armature de traction et le centre de la zone de compression. Dans le cas des poutres, z est approximativement choisi 0,9d, où d est la profondeur efficace. Cependant, si une force axiale est présente, cette approximation ne peut pas être utilisée. Le programme calcule automatiquement le bras de levier des forces internes en tenant compte de la force axiale dans la section transversale.

☞ **Le programme vérifie les règles de détail de la norme concernant les rapports minimum/maximum d'armatures longitudinales, la distance maximum des cadres et le diamètre minimum des cadres. Un message d'avertissement attire l'attention de l'utilisateur dans la fenêtre d'information et immédiatement après les calculs d'étude si l'une de ces règles de détail n'est pas respectée. Pendant la définition des paramètres, l'utilisateur est informé du respect des règles de détail concernant la distance maximale des cadres et le diamètre minimal des cadres en cliquant sur le bouton.**

Voir... *6.5.4. Paramètres d'armatures de flexion bi-axiale (poteau)*

6.5.9.6. Vérification à l'effort tranchant et à la torsion selon l'Eurocode 2 et la norme DIN 1045-1

Résistance à l'effort tranchant

$$V_{Rd} = Min\left[Max\left[V_{Rd,c}, V_{Rd,s}\right], V_{Rd,max}\right]$$

Où $V_{Rd,c}$, est la résistance à l'effort tranchant du béton, $V_{Rd,s}$ est la résistance à l'effort tranchant des cadres, et $V_{Rd,max}$ est la résistance maximale à l'effort tranchant de la section transversale en fonction de la résistance de la bielle de compression du béton.

Résistance à l'effort tranchant du béton

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}\right] b_w d \geq \left(v_{min} + k_1 \sigma_{cp}\right) b_w d$$

Où :

- ρ_{sl} ratio d'armature en traction,
- b_w est la plus petite largeur de la section transversale dans la zone de traction (section transversale circulaire 0,8D),

- d est la profondeur efficace,
- σ_{cp} la contrainte axiale dans la section transversale due à la charge ou à la tension (la compression est positive) <0,2fcd,
- Les paramètres $C_{Rd,c}$, v_{min} et k_1 sont réglementés dans l'Annexe Nationale. Les valeurs de ces facteurs peuvent être définies dans la fenêtre Norme sous l'onglet Béton armé (voir... *3.3.7 Normes)*.

Dans le cas de la norme DIN 1045-1:

$$V_{Rd,c} = \left[0.1k(100\rho_l f_{ck})^{1/3} + 0.12\sigma_{cp}\right]b_w d$$

Résistance à l'effort tranchant des cadres

Section transversale rectangulaire :

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} \cot\theta$$

Section transversale circulaire :

$$V_{Rd,s} = \lambda_1 \lambda_2 \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} \cot\theta$$

où :

- A_{sw} est la section transversale de l'armature à l'effort tranchant,
- s est l'espacement des cadres ou le pas du cadre spiralé,
- z est le bras de levier,
- f_{ywd} est la limite d'élasticité de l'armature d'effort tranchant,
- θ est l'angle de fissuration à l'effort tranchant,
- λ_1 est le facteur de réduction pour les cadres circulaires,
- λ_2 est le facteur de réduction pour les cadres à spirale.

Résistance à l'effort tranchant maximale

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} b_w z \nu_1 f_{cd} \frac{\cot\theta + \cot\alpha}{1 + \cot^2\theta}$$

où :

- α_{cw} est un coefficient prenant en compte l'état de la contrainte dans la zone de compression,
- ν_1 est un facteur de réduction de la résistance du béton fissuré à l'effort tranchant,
- α est l'angle entre l'armature à l'effort tranchant et l'axe de la poutre perpendiculaire à l'effort tranchant (dans le cas des cadres α=90°).
-

Dans le cas de la norme DIN 1045-1 :

$$V_{Rd,max} = 0.75 b_w z f_{cd} \frac{\cot\theta + \cot\alpha}{1 + \cot^2\theta}$$

Moment de fissuration par torsion - résistance à la torsion du béton

$$T_{Rd,c} = 2A_k f_{ctd} t_{ef}$$

Où :

- A_k est la zone délimitée par les lignes centrales des murs de liaison,
- t_{ef} est l'épaisseur effective du mur.

Moment de torsion maximal d'étude

Le moment de torsion maximal lié à la résistance de la bielle de compression du béton est calculé comme suit :

$$T_{Rd,max} = 2\nu\alpha_{cw} f_{cd} A_k t_{ef} \sin\theta \cos\theta$$

Calcul de kT

$$k_T = \frac{T_{Ed}}{2A_{sw} A_k f_{ywd} \cot\theta}$$

Où :

- T_{Ed} est le moment de torsion d'étude,
- A_{sw} section transversale d'un cadre

Calcul de $A_{sl,T}$

$$A_{sl,T} = \frac{T_{Ed} u_k \cot\theta}{2A_k f_{ywd}}$$

Où :

- u_k est le périmètre de la zone A_k.

6.5.9.7. Verification à l'effort tranchant et à la torsion selon la norme SIA 262

Résistance à la traction des cadres

Section transversale rectangulaire :

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{sd} \cot \alpha$$

Section transversale circulaire :

$$V_{Rd,s} = \lambda_1 \lambda_2 \frac{A_{sw}}{s} z f_{sd} \cot \alpha$$

Où :

- A_{sw} est la section transversale de l'armature à l'effort tranchant,
- s est l'espacement des cadres ou le pas du cadre spiralé,
- z est le bras de levier,
- f_{sd} est la limite d'élasticité d'étude de l'armature d'effort tranchant,
- α est l'angle de fissuration à l'effort tranchant,
- λ_1 est le facteur de réduction pour les cadres circulaires,
- λ_2 est le facteur de réduction pour les cadres à spirale.

Résistance maximale calculée au cisaillement

$$V_{Rd,c} = b_w z k_c f_{cd} \sin \alpha \cos \alpha$$

$$k_c = \frac{1}{1.2 + 55\varepsilon_1} \leq 0.65$$

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_x + (\varepsilon_1 + 0.002) \cot^2 \alpha$$

Où :

- k_c est le facteur de réduction de la résistance du béton fissuré à l'effort tranchant

Moment maximum calculé de torsion

Le moment de torsion maximal lié à la résistance de la bielle de compression du béton est calculé comme suit :

$$T_{Rd,max} = 2 k_c f_{cd} A_k t_k \sin \theta \cos \theta$$

Calcul de k_T

$$k_T = \frac{T_{Ed}}{2 A_{sw} A_k f_{sd} \cot \theta}$$

Où :

- T_{Ed} est le moment de torsion calculé
- A_{sw} section transversale d'un cadre

Calcul de l'$A_{sl,T}$

$$A_{sl,T} = \frac{T_{Ed} u_k \cot \theta}{2 A_k f_{sd}}$$

Où :

- u_k est le périmètre de la zone A_k.

6.5.9.8. Calcul en capacité : calcul de la valeur d'étude de l'effort tranchant selon l'Eurocode et SIA

Dans le cas de structures dissipatives avec classe de ductilité DCM ou DCH, afin d'éviter la rupture au cisaillement des poteaux, les valeurs de calcul de l'effort tranchant sont déterminées conformément à la règle de calcul de la capacité (si le cas de charges sismiques est inclus dans la combinaison de charge sélectionnée), sur la base de l'équilibre du poteau sous les moments finaux $M_{i,d}$.

Calcul de $M_{i,d}$

$$M_{i,d} = \gamma_{Rd} M_{Rc,i} min \left\{ 1; \frac{\sum M_{RB}}{\sum M_{RC}} \right\}$$

Où :

- i=1,2 indique les sections transversales de fin de poteau,
- γ_{Rd} est le facteur qui explique la sur-résistance due à l'écrouissage de l'acier et au confinement du béton de la zone de compression de la section transversale,
- $M_{Rc,i}$ est la valeur d'étude en capacité de moment à l'extrémité i au sens du moment de flexion sismique sous le sens considéré de l'action sismique ;
- ΣM_{RB} et ΣM_{RC} la somme des capacités de moment des poutres et des poteaux connectées respectivement à un même joint.

Calcul de V_{Ed}

$$V_{Ed} = V_{Ed,0} + V_{Ed,EQ}$$

Où :

- $V_{Ed,0}$ indique l'effort tranchant provenant d'actions non sismiques (du poids propre, etc.),
- $V_{Ed,EQ}$ est la valeur d'étude de l'effort tranchant sismique.

Rotule en plastique supérieure et inférieure

$$V_{Ed,EQ} = \frac{M_{1,d} + M_{2,d}}{l_{cl}}$$

Où :

- l_{cl} est la longueur libre du poteau (par défaut, 90 % de la longueur du poteau).

Rotule en plastique supérieure

Si la rotule plastique ne peut être définie qu'en haut du poteau (par exemple en raison d'un appui articulé, etc.), il est possible de régler dans la fenêtre de paramètres que la rotule plastique ne doit être définie qu'en haut. Dans ce cas, la valeur de calcul de l'effort tranchant sismique est calculée de la manière suivante :

$$V_{Ed,EQ} = \frac{\left(M_{1,Ed,0} + x \cdot M_{1,Ed,EQ}\right) + M_{2,d}}{l_{cl}}$$

Où :

- $M_{1,Ed,0}$ indique le moment de flexion dû à des actions non sismiques (à partir de poids propre, etc.) en partie inférieure,
- $M_{1,Ed,EQ}$ est la valeur d'étude du moment de flexion en partie inférieure a partir de l'analyse sismique,
- x est un multiplicateur du moment de flexion sismique pour atteindre la capacité de moment de flexion de la rotule plastique en partie supérieure

Rotule en plastique en partie inférieure

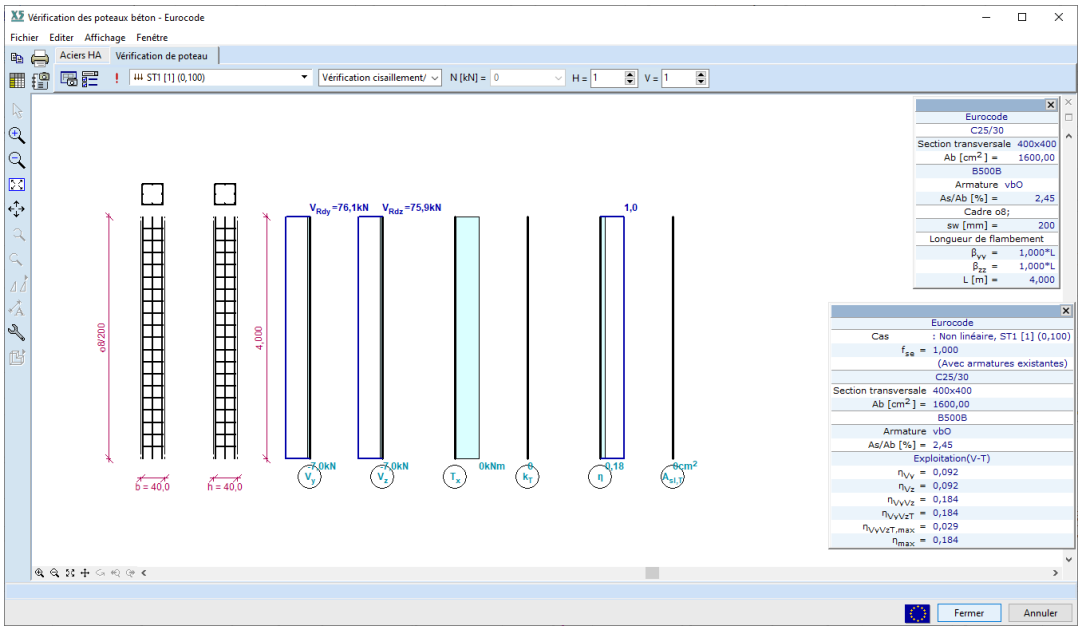
$$V_{Ed,EQ} = \frac{M_{1,d} + \left(M_{2,Ed,0} + x \cdot M_{2,Ed,EQ}\right)}{l_{cl}}$$

Où :

- $M_{2,Ed,0}$ indique le moment de flexion dû à des actions non sismiques (à partir de poids propre, etc.) en partie supérieure,
- $M_{2,Ed,EQ}$ est la valeur d'étude du moment de flexion en partie inférieure a partir de l'analyse sismique,
- x est un multiplicateur du moment de flexion sismique pour atteindre la capacité de moment de flexion de la rotule plastique en partie inférieure.

☞ **Si l'effort tranchant sismique issue de l'analyse sismique est supérieure à l'effort tranchant calculé sur la base des règles d'étude en capacité, l'effort tranchant issue de l'analyse sismique est utilisée comme $V_{Ed,EQ}$.**

Résultats



Le calcul d'étude de l'effort tranchant sismique décrit ci-dessus n'est effectué que s'il existe un cas de charges sismiques dans la combinaison de charges sélectionnée. Un effort de cisaillement sismique calculé conformément aux règles d'étude en capacité est ajouté aux efforts de cisaillement non sismiques respectivement dans les directions *y* et *z*. La valeur d'étude de la force de cisaillement, y compris la force de cisaillement sismique provenant de l'étude en capacité, est représentée par des lignes rouges pointillées et pleines.

L'effort tranchant sismique doit être considéré avec un signe positif et négatif en tenant compte des directions positives et négatives de la charges sismiques. La ligne rouge continue représente les valeurs absolues les plus élevées.

☞ **Le programme vérifie les règles de détail de la norme concernant le rapport minimum/maximum d'armature longitudinale, la distance maximum des cadres et le diamètre minimum des cadres. Un message d'avertissement attire l'attention de l'utilisateur dans la fenêtre d'information et immédiatement après les calculs d'étude si l'une de ces règles de détail n'est pas respectée. Pendant la définition des paramètres, l'utilisateur est informé du respect des règles de détail concernant la distance maximale des cadres et le diamètre minimal des cadres en cliquant sur le bouton.** (Voir... *6.5.4. Paramètres d'armatures de flexion bi-axiale (poteau)*) **Il incombe à l'utilisateur de vérifier le respect des autres règles de détail standard spécifiques.**

6.5.10. Étude de poteaux composites - module RC2



Le contrôle d'étude des poteaux composites soumis à une force de compression/traction et à une flexion biaxiale peut être effectué selon les norme suivantes :

Eurocode 4: EN 1994-1-1:2010
SIA : SIA 264:2014

Le chapitre *3.1.16.1.Editeur de Section transversale* montre comment créer une section composite dans le logiciel. Les colonnes répondant aux critères suivants ne peuvent être conçues que dans le module RC2, conformément aux normes.

- La qualité de l'acier doit être comprise entre S235 et S460 ;
- La classe de résistance du béton doit être comprise entre C20/25 et C50/60 ;
- Le poteau est isolé et fait partie d'une structure à cadre où les autres éléments structuraux sont soit des éléments composites, soit des éléments en acier ;
- la section transversale du poteau est doublement symétrique.

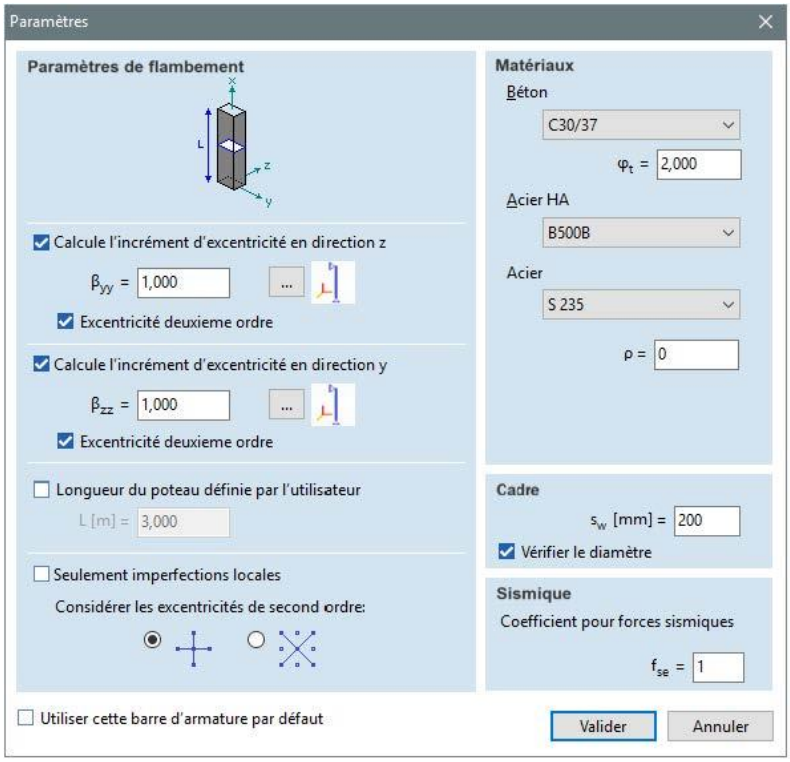
.

Il est à noter que l'Eurocode et la norme SIA prescrivent d'autres critères qui doivent être vérifiés par l'utilisateur. Le programme affiche des messages d'avertissement dans les cas suivants :

- si la nuance d'acier ou la classe de résistance du béton se situe en dehors de la fourchette acceptable ;
- si l'effet du flambement local ne peut être négligé (le contrôle d'étude effectué par le logiciel ne tient pas compte de l'effet du flambement local) ;
- si le ratio de contribution de l'acier (δ) se situe en dehors de la fourchette acceptable.

Les étapes du contrôle de l'étude des poteaux composites sont très similaires ou identiques aux étapes à suivre lors d'étude des poteaux en béton armé conventionnels (c'est-à-dire comment définir l'armature, quel bouton doit être cliqué). Pour cette raison, les étapes décrites dans *6.5.4. Paramètres d'armatures de flexion bi-axiale (poteau)* et *6.5.9. Armatures de poteau - module RC2* ne sont pas répétées, cependant, les différences sont soulignées.

Paramètres

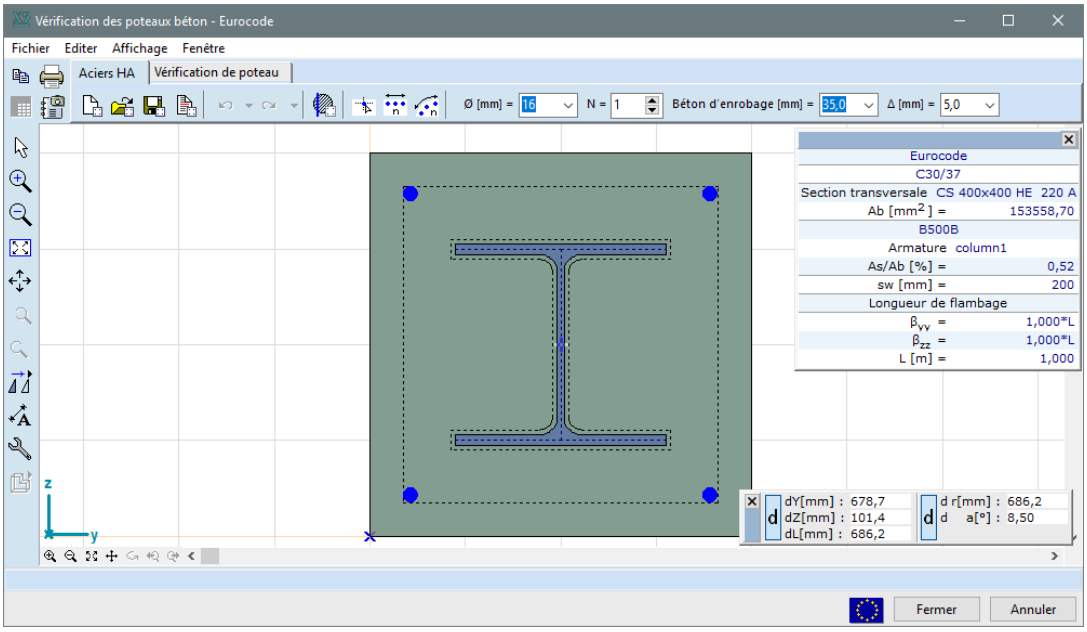


Cette fenêtre est utilisée pour définir les paramètres d'étude de manière similaire aux poteaux en béton armé conventionnels. La plupart des paramètres sont décrits dans la section transversale précédente, voir... *6.5.4. Paramètres d'armatures de flexion bi-axiale (poteau)*. En outre, la nuance d'acier des sections transversales et le facteur de réduction (ρ) considérant l'effet de la force de cisaillement sur la résistance à la flexion et à la compression peuvent être spécifiés. Le facteur ρ est utilisé si la force de cisaillement $V_{a,Ed}$ sur la section transversale en acier dépasse 50% de la résistance au cisaillement $V_{pl,a,Rd}$ de la section transversale en acier. Ce facteur est utilisé pour réduire la limite d'élasticité considérée du matériau acier dans l'âme du profilé en acier:

$$(1-\rho)\cdot f_{yd}$$

Définition de l'armature

L'armature de la section transversale peut être définie dans la fenêtre suivante. Elle est identique à la définition de l'armature dans le cas d'un poteau en béton armé conventionnel voir... *6.5.4. Paramètres d'armatures de flexion bi-axiale (poteau)*. Dans le cas des poteaux composites, l'enrobage béton sur la section transversale en acier (Δ) peut également être spécifiée.



Vérification des poteaux B.A.

Le programme effectue la vérification à la flexion avec ou sans force axiale du poteau sur la base de la section transversale et des propriétés d'étude et paramètres d'armatures donnés. Les détails de l'évaluation de l'exploitation de la flexion sont expliqués dans les sections transversales suivantes. L'interprétation graphique des résultats et les tableaux de résultats sont abordés dans la section transversale susmentionnée ; voir... *6.5.9. Armatures de poteau - module RC2*
La conception au feu des poteaux composites n'est pas prise en charge dans le module RC8-B..

6.5.10.1. Contrôle d'étude selon les normes Eurocode et SIA

L'exploitation du poteau soumis à des moments de flexion uni axiaux y-y et z-z est évaluée de la manière suivante :

$$\eta_y = \frac{M_{y,Ed}}{\alpha_{M,y} M_{y,N,Rd}} \leq 1.0$$

$$\eta_z = \frac{M_{z,Ed}}{\alpha_{M,z} M_{z,N,Rd}} \leq 1.0$$

Où

- $M_{y,N,Rd}$ et $M_{z,N,Rd}$ sont la valeur d'étude de la résistance à la flexion de la section transversale composite en tenant compte de la force normale de compression,
- $\alpha_{M,y}$ et $\alpha_{M,z}$ sont des coefficients liés à la flexion d'un poteau composite respectivement autour de l'axe y-y et de l'axe z-z (S235 - S355 $\alpha_{M=0,}9$; S420 - S440 α_M=0,8).

Les courbes d'interaction pour la compression combinée et la flexion uni axiale liées aux axes y-y et z-z sont calculées séparément. L'exploitation du poteau soumis à une flexion biaxiale est calculée de la manière suivante :

$$\eta = \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,N,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,N,Rd}} \leq 1.0$$

☞ **Il peut arriver que dans la fenêtre d'information ou dans le tableau des résultats, le symbole ? ?? soit visible au lieu de l'exploitation du poteau. Ce symbole signifie que l'exploitation du poteau ne peut pas être évaluée. Dans la plupart des cas, la raison de cette erreur est que la force axiale d'étude est supérieure à la résistance à la compression/traction de la section transversale, donc l'exploitation du poteau basée sur le moment de flexion ne peut pas être calculée.**

Moment de flexion calculé

Les moments de flexion $M_{y,Ed}$ et $M_{z,Ed}$ contiennent le moment de flexion du premier ordre, le moment de flexion provenant de l'imperfection et les effets du second ordre. Les effets du second ordre sont pris en compte avec le coefficient multiplicateur (k) suivant, qui est utilisé pour multiplier la somme des moments de flexion du premier ordre et des moments de flexion provenant de l'imperfection :

$$k = \frac{\beta}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,eff}}} \geq 1.0$$

Où

- β est un facteur de moment équivalent,
- $N_{cr,eff}$ est la force normale critique pour l'axe concerné et correspondant à la rigidité en flexion efficace calculée comme suit.

$$N_{cr,eff} = \frac{\pi^2 (EI)_{eff,II}}{L_{cr}^2}$$

$$(EI)_{eff,II} = 0.9 \cdot \left(E_a I_a + E_s I_s + 0.5 \cdot E_{cm} \frac{1}{1 + \varphi_t} I_c \right)$$

Où

- $E_a I_a$ est la rigidité à la flexion d'un profilé en acier,
- $E_s I_s$ est la rigidité à la flexion de l'armature,
- E_{cm}, φ et I_c sont le module sécant d'élasticité du béton, le coefficient d'élasticité et le second moment surfacique de la section transversale de béton non fissurée.

6.5.11. Étude de l'armature des poutres - module RC2

Norme

Eurocode 2 : *EN 1992-1-1:2004*
DIN : *DIN 1045-1:2001-07*
SIA : *SIA 262:2013*

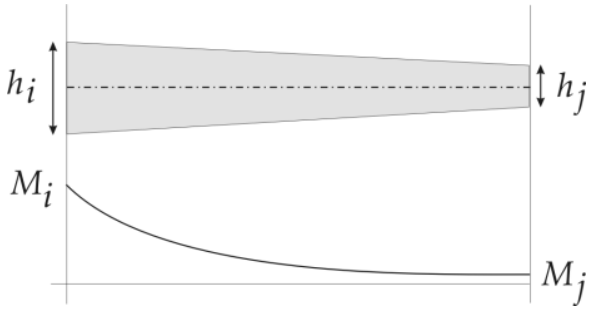
☞ **Les poutres sont des éléments structuraux, dont une dimension (la longueur) est nettement supérieure aux dimensions de la section transversale, qui sont chargés en flexion et en cisaillement, et dont la force axiale est nulle ou d'une valeur faible et négligeable.**

Le module d'étude des armatures des poutres peut être appliqué aux éléments structuraux de poutre modélisés par des éléments finis de poutre ou de nervure, qui ont le même matériau et des sections transversales rectangulaires ou en T constantes ou variables, en supposant que la charge est appliquée dans le plan de symétrie de la section transversale.
Les armatures longitudinales supérieures et inférieures calculées sont de la même nuance d'acier, tandis que les cadres pourraient avoir une nuance d'acier différente des HA longitudinaux.

Paramètres d'armatures des poutres

L'étude de la poutre (calcul de la quantité d'armature requise, mise en place des cadres et des aciers HA, et vérification des armatures de la poutre) utilise les paramètres saisis dans la boîte de dialogue Paramètres d'armatures de la poutre (voir... *6.5.3. Paramètres d'armatures de flexion uni-axiale (poutre)* .

Section transversale variable



La variation de la force de cisaillement due à la section transversale variable est prise en compte.
Lorsque le signe du moment ne change pas, une règle simple peut être appliquée : si la hauteur de la section transversale change de la même manière que le moment le long de la ligne, la capacité de cisaillement augmente, sinon elle diminue.

La force de cisaillement est modifiée par

$$\Delta V = 2A_s f_{yd} \sin \alpha,$$

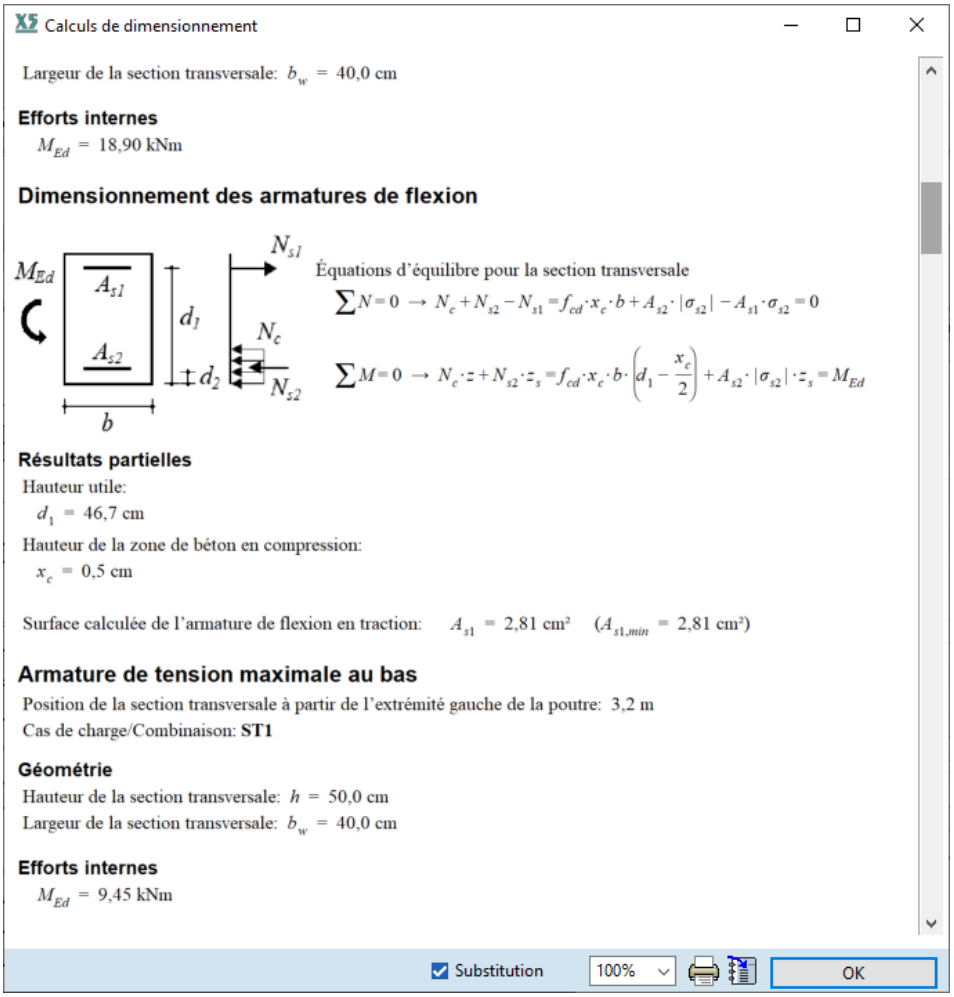
Où A_s est la section d'armature de traction longitudinale, α est l'angle entre la fibre extrême et la ligne centrale. L'armature longitudinale est supposée être parallèle à la fibre extrême.

☞ **Le programme effectue les calculs d'étude décrits ci-dessous. Toute autre analyse, si elle est prescrite par le code d'étude, doit être effectuée par l'utilisateur.**

La version actuelle du module ne traite pas de la flexion hors plan, de l'effet des états de force internes complexes, du flambement latéral par torsion ou de l'effet des contraintes maximales perpendiculaires à l'axe dues à l'action des forces ponctuelles et ne convient pas à l'étude de l'armature des porte-à-faux courts.

Calculs d'étude

Cliquez sur le bouton *Calcul d'étude dans la boîte de* dialogue de *rééquilibrage de la poutre pour* afficher les détails des calculs selon le code d'étude actuel. Les références aux sections transversales et aux formules du code d'étude apparaissent en bleu. Si l'onglet *Étude* ou *Armature calculée de la poutre* est actif, les calculs d'étude sont basés sur l'armature calculée. Si l'onglet Armature de poutre *réelle* est actif, le rapport succinct est basé sur l'armature réelle.



Cliquer sur l'icône *Paramètres* à côté du bouton *Calculs d'étude* permet de définir le niveau d'élaboration et les unités de base pour la force et la longueur utilisées dans les calculs d'étude. Des résultats importants apparaissent également convertis en unités AxisVM standard (voir... *3.3.8. Unités et formats*).

Pour une description plus détaillée de la fenêtre de calcul de la conception, voir... *6.6 Étude acier* et *6.6.1.3 Diagrammes et calculs d'étude*

6.5.11.1. Étapes d'étude de l'armature des poutres



Paramètres D'armature de la poutre

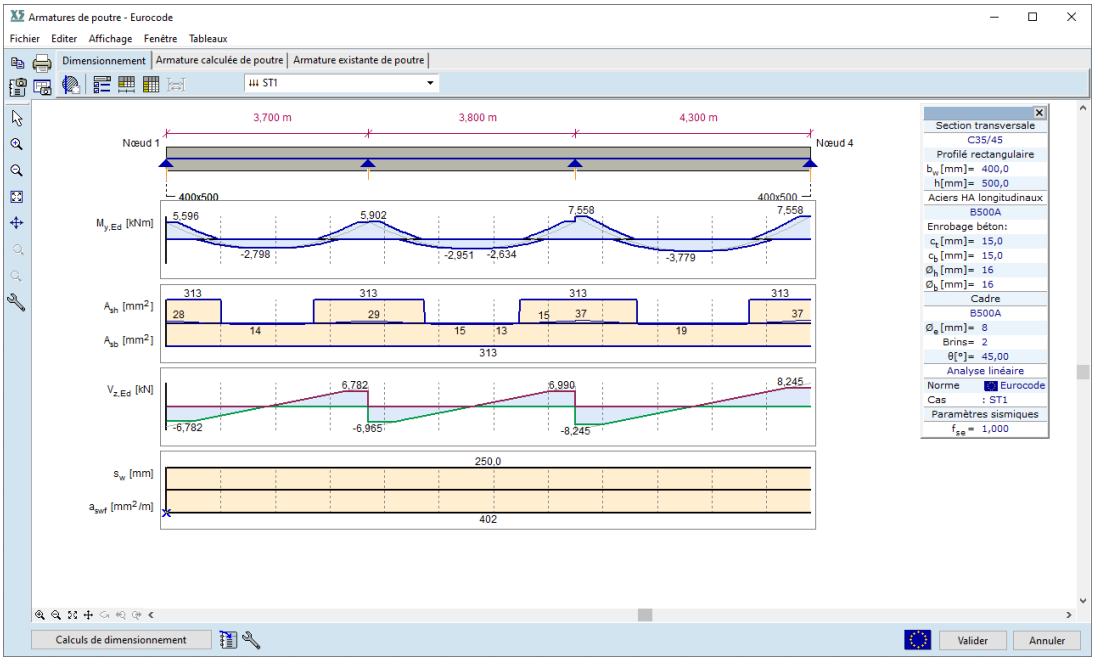
L'étude est réalisée en deux étapes :

1. Étude d'une armature longitudinale pour les moments autour de l'axe *y* ou *z (My,* ou *Mz).*
2. Détermination de l'espacement des cadres verticaux en tenant compte des forces de cisaillement autour de l'axe y ou z (*Vy* ou *Vz*) et du moment de torsion *(Tx).*

La force axiale n'est pas prise en compte. Si la force axiale ne peut pas être négligée, il est recommandé d'utiliser le module d'étude des poteaux.
La flexion et le cisaillement / torsion sont analysés séparément, mais l'armature de la traction longitudinale est prise en compte dans la détermination de la capacité de cisaillement.
L'augmentation de la traction dans les armatures longitudinales due aux fissurations de cisaillement est prise en compte en décalant le moment.



Les diagrammes suivants peuvent être affichés dans l'onglet *Étude* : Moment d'étude *(My_{Ed})*, armature supérieure/inférieure calculée (*A_s*), force de cisaillement d'étude (*Vz),* espacement des cadres (*s_w*), *moment de* torsion calculé (*Tx),* armature de torsion latérale (*A_{SL}).



Armatures Longitudinales contre la flexion

L'armature longitudinale contre la flexion est affichée en bleu, l'armature de compression en rouge, l'armature minimale requise par le code d'étude en gris.

Espacement des cadres

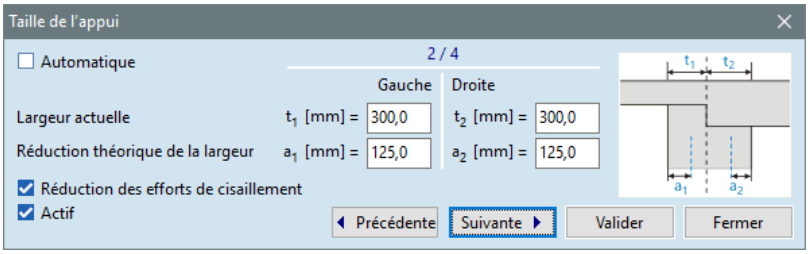
L'espacement maximal autorisé entre les cadres est affiché en noir, l'espacement calculé en bleu et l'espacement minimal selon le code d'étude en gris.

Armatures Longitudinales contre la torsion

L'armature longitudinale contre la torsion est affichée en violet.

Etablissement de la taille de l'appui

AxisVM identifie automatiquement tous les types d'appuis possibles (poteaux, murs, poutres, appuis nodaux) mais leur largeur peut être modifiée. Cliquez sur un appui pour accéder à la boîte de dialogue ci-dessous



L'activation de la fonction *Auto permet de* définir les valeurs de largeur détectées. Décochez cette case pour définir manuellement la *largeur réelle* et la *réduction théorique de la largeur.* Elle Cette commande vous permet de spécifier les segments *a1* et *a2 sur le* côté de l'appui qui seront ignorés dans les calculs. Les forces internes sont interpolées linéairement à l'intérieur des segments.

La vérification de la *réduction de la force de cisaillement* active une méthode décrite dans le code d'étude pour réduire la force de cisaillement au-dessus des appuis. Décoché *Activé* pour ignorer l'appui dans le calcul d'étude.

Paramètres de la poutre



Voir...*6.5.3. Paramètres d'armatures de flexion uni-axiale (poutre)*

Afficher les résultats

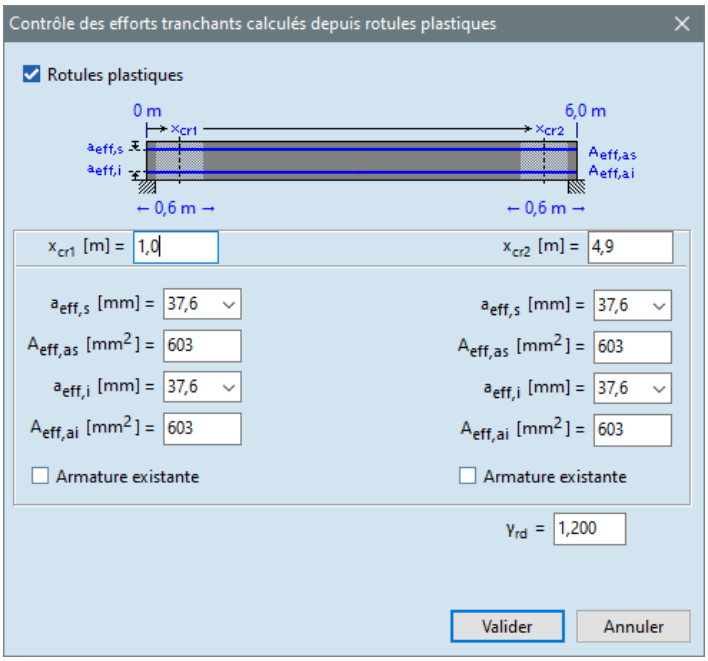


L'affichage des diagrammes et des annotations sur chaque onglet peut être personnalisé.

Rotules en plastique



Dans le cas des structures dissipatives avec la classe de ductilité DCM ou DCH (EN 1998-1-1), afin d'éviter la rupture en cisaillement des poutres, les valeurs de calcul des forces de cisaillement sont déterminées conformément à la règle de calcul de la capacité (si le cas de charges sismiques est inclus dans la combinaison de charge sélectionnée), sur la base de l'équilibre de la poutre en dessous: a) la charge transversale agissant sur elle dans la situation d'étude sismique et b) les moments d'extrémité $M_{i,d}$ (avec i=1,2 désignant les sections transversales d'extrémité de la poutre), correspondant à la formation de rotules plastiques pour les directions positive et négative de la charges sismiques.
Les paramètres suivants peuvent être donnés par l'utilisateur : le coefficient de sécurité, la distance entre les rotules en plastique et les armatures des rotules en plastique. Si la case *Armature réelle* est cochée, les paramètres d'armatures relatives aux rotules plastiques sont calculés automatiquement sur la base de l'armature réelle de la poutre définie (voir... *6.5.11.3. Vérification de l'armature réelle des poutres* - norme SIA262:2003*)*. La longueur sous les rotules plastiques dans la fenêtre est la longueur de la région critique où le programme considère des exigences plus strictes concernant les règles de détail de l'armature de cisaillement afin d'atteindre la ductilité attendue.



Compte tenu des règles d'étude en capacité, l'effort tranchant est calculé de la manière suivante (si le cas de charges sismiques est inclus dans la combinaison sélectionnée):

$$V_{Ed} = V_{Ed,0} + V_{Ed,EQ}$$

Où :

- $V_{Ed,0}$ indique l'effort tranchant provenant d'actions non sismiques (de poids propre, etc.),
- $V_{Ed,EQ}$ est la valeur d'étude de l'effort tranchant sismique.

$$V_{Ed,EQ} = \gamma_{Rd} \frac{M_{1,d} + M_{2,d}}{l}$$

Où :

- l est la distance entre les rotules en plastique (xcr2 - xcr1).

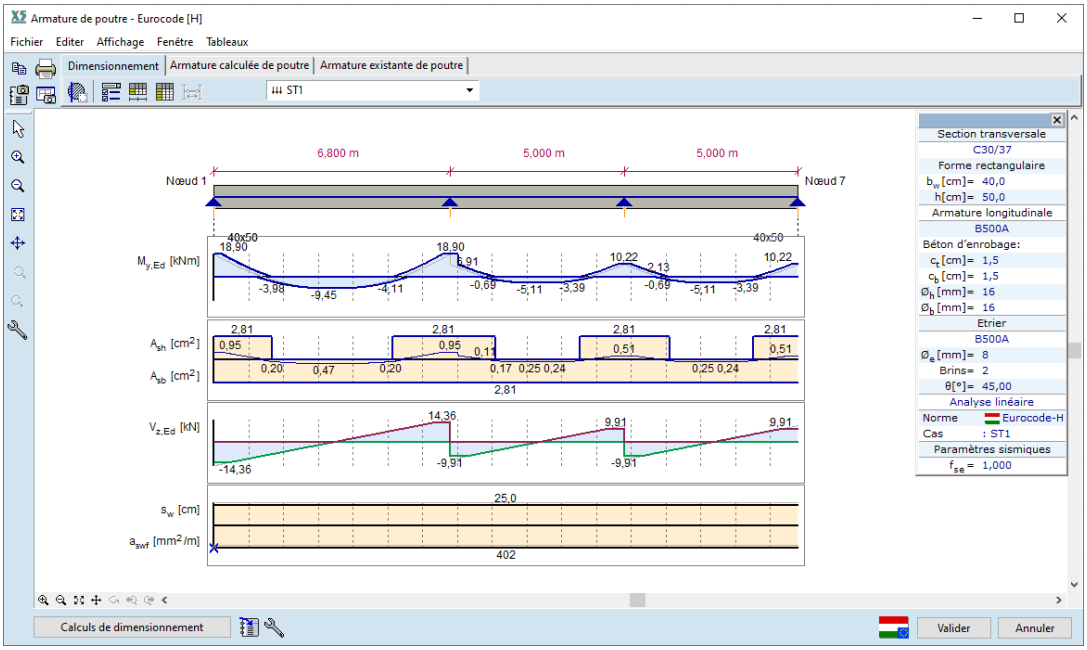
L'effort tranchant sismique est considérée avec un signe à la fois positif et négatif en tenant compte des directions positives et négatives de la charges sismiques.

☞ **Si l'effort tranchant sismique issue de l'analyse sismique est supérieure à l'effort tranchant calculé sur la base des règles d'étude en capacité, la force de cisaillement sismique issue de l'analyse sismique est utilisée comme $V_{Ed,EQ}$.**

☞ **Le programme envisage de détailler les règles concernant la distance maximale des cadres par le calcul de la disposition des cadres. Il incombe à l'utilisateur de vérifier que les règles de détail spécifiques des poutres à rotules en plastique sont respectées.**

6.5.11.2. Vérification de l'armature des poutres

Après avoir cliqué sur l'onglet *armature calculée des poutres*, les diagrammes suivants peuvent être affichés :
Enveloppe de l'armature *(A_s)*, armature latérale contre la torsion *(A_{SL})*, fissuration *(w_k)*, espacement des cadres *(s_w)*, résistance au moment *(My_{Rd})*, effort tranchant maximale *(Vz_{Rd})*, résistance à la torsion *(Tz_{Rd})*, exploitation du moment de flexion *(My_{Ed}/My_{Rd})*, exploitation du cisaillement *(Vz_{Ed}/Vz_{Rd})*, exploitation de la torsion *(Tz_{Ed}/Tz_{Rd})*, déviation relative *($e_{z,rel}$)*, déviation absolue *($e_{z,abs}$)*.



État limite ultime (ELU)

Flexion

La résistance au moment de flexion M_{Rd} est déterminé à partir de l'armature nécessaire (calculé). Cette version ne tient pas compte de la force normale. Si la force normale est considérable, il est recommandé d'utiliser le module d'armature des poteaux. L'exploitation du moment de flexion (M_{Ed}/M_{Rd}) est également affiché sous forme de diagramme.

Effort tranchant

Le programme calcul :
- la résistance à l'effort tranchant sans armature à l'effort tranchant ($V_{Rd,c}$),
- la résistance maximale à l'effort tranchant limitée par la bielle de compression du béton ($V_{Rd,max}$),
- la résistance à l'effort tranchant de l'armature à l'effort tranchant ($V_{Rd,s}$),

La résistance globale à l'effort tranchant (V_{Rd}) de la section transversale est basée sur les éléments mentionnés ci-dessus. L'exploitation de l'effort tranchant (V_{Ed}/V_{Rd}) est affiché le long de l'élément de structure.

Effort tranchant et torsion

Le programme calcul la résistance à l'effort tranchant et à la torsion :
- la résistance à l'effort tranchant sans armature à l'effort tranchant / torsion ($V_{Rd,c}$ et $T_{Rd,c}$),
- la résistance maximale à l'effort tranchant / moment de torsion limité par la bielle de compression du béton ($V_{Rd,max}$ et $T_{Rd,max}$),
- la résistance à l'effort tranchant des armatures à l'effort tranchant ($V_{Rd,s}$) et le moment de torsion maximum ($T_{Rd,s}$)

La section d'ossature prise en compte pour la torsion par les éléments suivants :
$A_{sw,T} = \frac{V_{Ed,i}}{V_{Ed,i}V_{Ed}} \cdot A_{sw}$,
où A_{sw} est la section d'une jambe de cadre
$V_{Ed,i} = \frac{T_{Ed}}{2 \cdot A_k} \cdot z$ Est l'effort tranchant dû à la torsion,
V_{Ed} Est l'effort tranchant calculée.

Lors du calcul de la résistance à la torsion, seuls les cadres externes sont pris en compte.

État limite de service (ELS)

Analyse de la fissuration

Après avoir cliqué sur l'onglet "*vérification*", AxisVM détermine le schéma des aciers HA supérieurs et inférieurs à partir des quantités d'armatures supérieures et inférieures **calculées à partir du cas de charge ou de la combinaison de charges sélectionné(e)** et en fonction de la distance minimale des aciers HA spécifiés dans le code.
Si les aciers HA requis ne tiennent pas sur une rangée, plusieurs rangées sont introduites. Une rangée se compose de deux aciers HA au minimum.
Dans le cas de formes en T, des aciers HA seront placées dans l'aile uniquement si les aciers HA ne s'insèrent pas dans l'âme. Les aciers HA de l'aile ne peuvent former qu'une seule rangée et leur nombre ne peut pas dépasser la moitié du nombre total de aciers HA.
Si l'enveloppe est sélectionnée, la fissuration est calculée à partir de toutes les combinaisons ELS incluses dans l'enveloppe.
Si aucune combinaison ELS n'est incluse dans l'enveloppe, toutes les combinaisons ELU sont utilisées.
Les propriétés de la section transversale et la fissuration sont calculées avec les aciers HA réparties selon le schéma ci-dessus. Si une combinaison ELS est choisie, la fissuration est calculée avec le schéma des aciers HA déterminé à partir de l'armature requise de la combinaison ELS. Cette valeur de fissuration peut être supérieure à la fissuration calculée avec les aciers HA à partir des résultats critiques de l'enveloppe.

Fissuration

Si *Paramètres / Augmenter l'armature en fonction de la largeur limite de la fissuration* a été vérifié lors de la définition des paramètres d'armatures de la poutre, AxisVM augmentera le nombre de aciers HA du côté de la traction jusqu'à ce que la largeur de la fissuration calculée tombe en dessous de la limite, à condition que la surface totale d'armature ne dépasse pas 4 % ($A_s \leq 0.04 \cdot A_c$)

Déflexion

La déflexion est calculée en utilisant une approximation restant du côté sûr.
Le programme calcule le ζ des facteurs de distribution aux emplacements maximums du champ de moment et aux bords théoriques de l'appui et suppose que ce facteur est constant 1) entre les bords de l'appui et le point de moment zéro et 2) entre les points de moment zéro dans le champ.
La déflexion absolue déterminée par l'analyse linéaire est corrigée à l'aide des valeurs de déplacement de l'appui.
La déflexion approximative en un certain point de la poutre est $e = e_I \cdot (1 - \zeta) e_{II} \cdot \zeta$ où
ζ Est le facteur de répartition, $\zeta = 1 - \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{M_{cr}}{M}\right)^2$.
e_I Est la déflexion approximative de la poutre renforcée non fissurée : $e_I = e_0 \cdot I_I / I_b$
e_{II} Est la déflexion approximative de la poutre renforcée fissurée : $e_{II} = e_0 \cdot I_{II} / I_b$
e_0 Est la déflexion corrigée en tenant compte du module d'élasticité efficace du béton et des déplacements de l'appui $e_0 = e_{lin} \cdot E_{cm} / E_{c,eff}$

Affichage des résultats



Cliquez sur cette icône pour définir les diagrammes et les annotations des diagrammes à afficher.

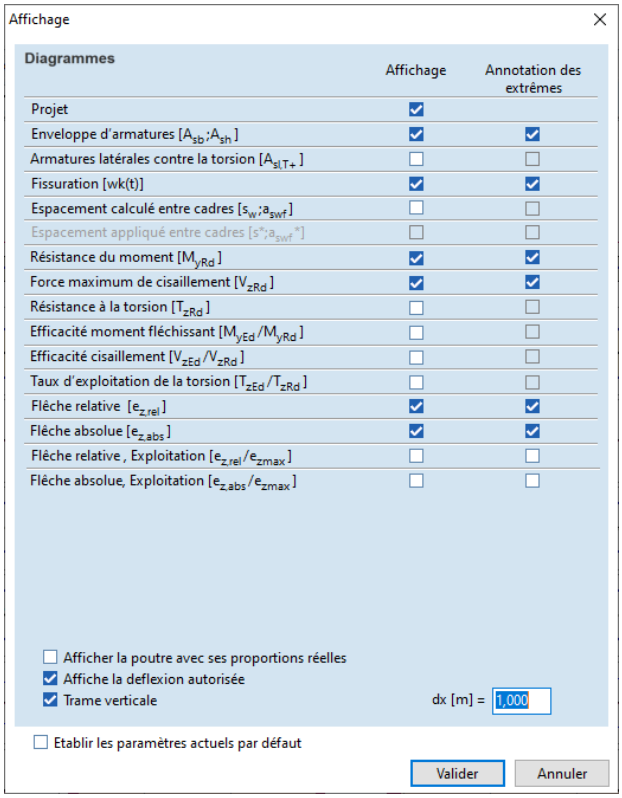


Tableau de contrôle (ELU)



Deux lignes de données sont affichées pour chaque section transversale, une pour l'armature supérieure et une pour l'armature inférieure.
Chaque ligne contient les forces internes de l'ELU et les valeurs des différentes composantes du résultat intermédiaire.
Un résumé plus court est également disponible, affichant les valeurs uniquement dans certaines sections transversales importantes.
Le schéma des aciers HA indique le nombre de aciers HA dans le prolongement de l'aile (à l'extérieur de l'âme) entre [crochets]. Les aciers HA dans l'âme sont affichés ligne par ligne de l'extérieur en [parenthèses rondes].

Tableau de contrôle (ELS)



Des tableaux similaires sont générés pour les forces internes, la largeur de la fissuration et les valeurs de déflexion de l'ELS.
La fissuration de la partie supérieure est calculée à partir du moment (max) provoquant la traction dans la partie supérieure. La fissuration du bas est calculée à partir du moment (min) provoquant une traction dans la partie inférieure. Si aucune traction n'apparaît sur un côté (max est négatif ou min est positif), les calculs sont effectués avec un moment zéro. Dans ce cas, le tableau indique zéro et le moment réel est indiqué entre parenthèses.

☞ **Les forces internes qui apparaissent dans ces deux tableaux ne sont différentes que si l'armature a été calculée pour une enveloppe ou une combinaison critique. Si un cas de charge ou une combinaison de charge individuelle a été sélectionné, les forces internes seront les mêmes.**

6.5.11.3. Vérification de l'armature réelle des poutres

Modifier les armatures réelles de la poutre

Dans l'onglet Armature *réelle de la poutre,* il est possible de modifier l'armature longitudinale réelle ou l'espacement des cadres attribué aux éléments finis.
Après avoir modifié l'armature ou l'espacement des cadres, les résultats sont automatiquement recalculés si la case *Afficher / Recalculer automatiquement* est cochée. Si cette fonction ralentit la définition (par exemple, la poutre doit être vérifiée pour un grand nombre de combinaisons critiques), désactivez cette option. Dans ce cas, cliquez sur le bouton Calculer en bas pour recalculer les résultats.



Sélectionner tout (Ctrl+A)
Sélectionne tous les éléments finis de la poutre.



Appliquer l'armature calculée / espacement des cadres
Définit l'espacement réel des armatures ou des cadres en fonction des valeurs calculées pour le cas de charge ou la combinaison de charges actuels sur l'ensemble de la poutre.

Cliquez sur l'un des deux boutons exclusifs pour sélectionner le mode de définition

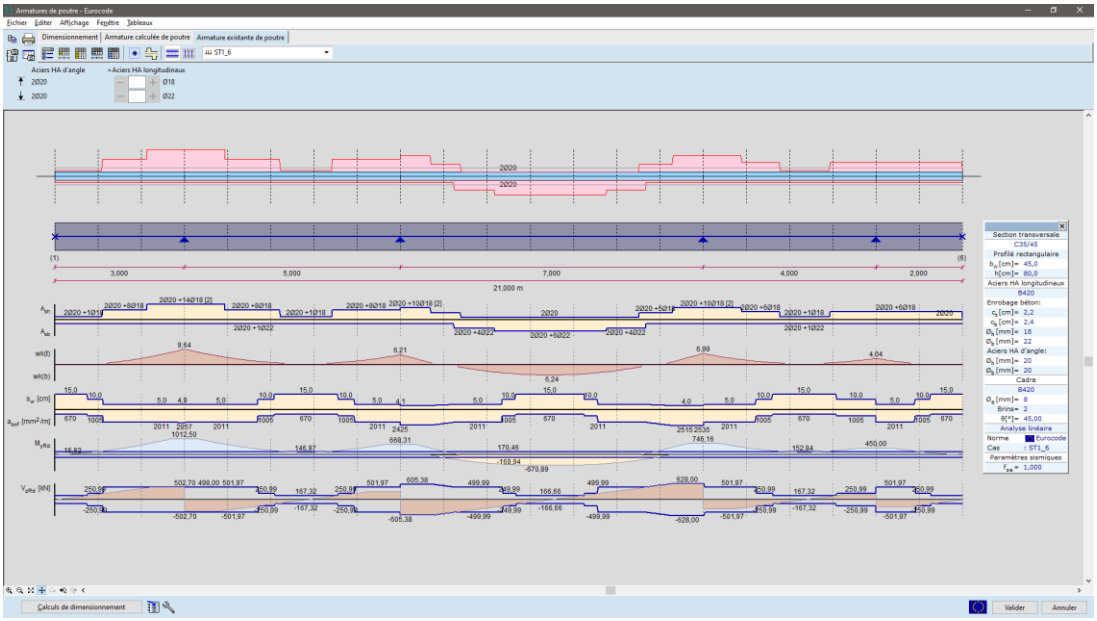
 *Aciers HA longitudinaux*  *Distance entre cadres*



Aciers HA longitudinaux
Si ce bouton est enfoncé, l'armature longitudinale peut être définie.
Sélectionnez des éléments finis ou supprimez la sélection en cliquant ou en faisant glisser la souris. Pour ajouter des éléments non adjacents à la sélection, appuyez sur la touche [Maj] pendant l'opération. Le diamètre des armatures d'angle et des autres armatures longitudinales est défini parmi les paramètres d'armatures de la poutre. Des boîtes d'édition permettent de modifier le nombre d'aciers HA supérieurs et inférieurs dans les éléments sélectionnés. Les boutons - et + permettent de diminuer/augmenter ces valeurs.
Le diagramme de l'armature réelle est rempli de bleu ciel, l'armature A_s calculée pour le cas de charge actuel ou la combinaison peut être vu en fond comme un diagramme rouge rempli de rose.

Vérification de l'armature réelle

Le programme affiche les résultats sélectionnés de la même manière que dans l'onglet précédent mais pour l'armature réelle. Les tableaux sont les mêmes mais affichent les résultats pour l'armature réelle.



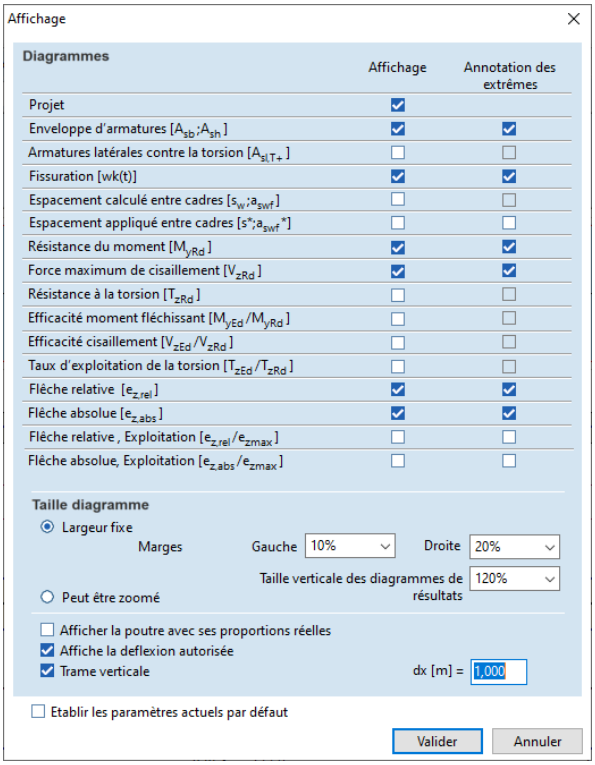
Etablit les paramètres d'affichage



Cliquez sur cette icône pour définir les diagrammes et les annotations des diagrammes à afficher.
Contrôles spéciaux pour l'onglet *Armature réelle de la poutre :*

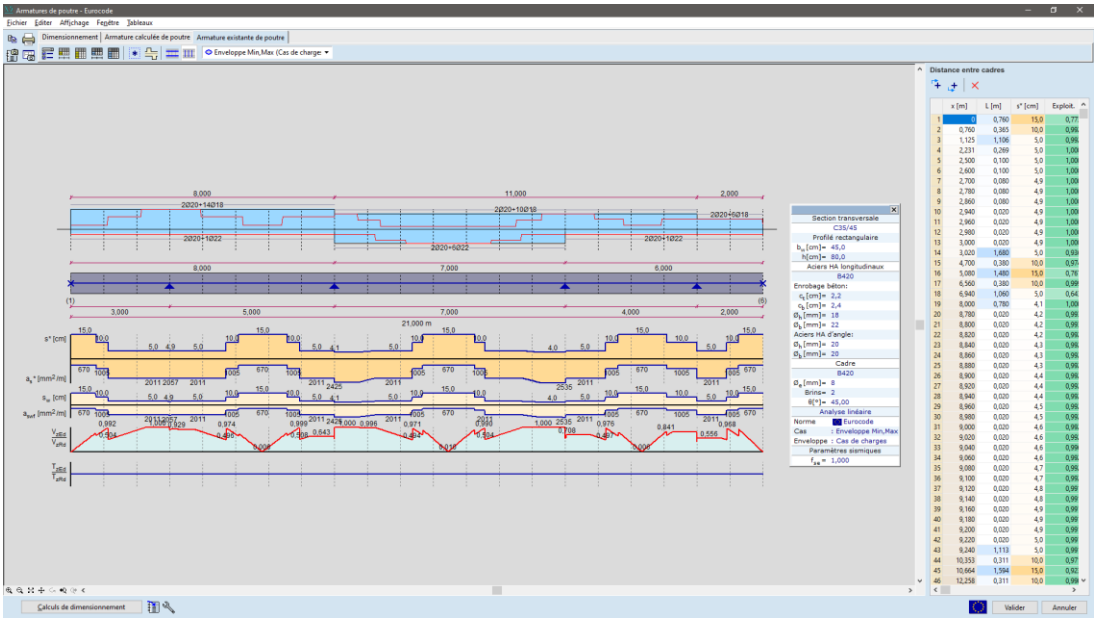
Marges. Définissez la marge gauche et droite des diagrammes en pourcentage de la largeur totale. De cette façon, vous pouvez laisser de la place pour la fenêtre d'information.

Taille verticale des diagrammes de résultats. Définit la taille verticale des diagrammes entre 100 % et 300 %. Cette valeur peut également être modifiée dans la fenêtre du diagramme en tournant la molette de la souris.





Distance entre cadres
Si ce bouton est enfoncé, l'espacement réel des cadres peut être réglé.
Un diagramme de l'espacement appliqués des cadres *(s*)* et de la zone spécifique d'armature *(a_{s*})* apparaît en haut. Un quadrillage apparaît à droite, affichant l'espacement des cadres comme une constante de fonction de pas dans les sections transversales continues le long de la poutre. La coordonnée *x du* point de départ de la section transversale, la longueur L de la section transversale et l'espacement s* sur cette section transversale peuvent être édités. Si les résultats ont été calculés, l'exploitation de chaque section transversale est également affichée (si cette valeur est supérieure à 1, le fond est rouge, sinon il est vert).



Modification de l' espacement des cadres

Après avoir cliqué sur le bouton *Appliquer l'armature calculée / l'espacement des cadres,* le tableau indique les valeurs calculées. Utilisez les boutons ci-dessous pour éditer le tableau décrivant la fonction d'échelon



Insérer une nouvelle ligne avant la ligne actuelle
Crée une nouvelle section transversale en divisant la ligne précédant la ligne actuelle en deux parties égales. *s** reste le même mais peut être édité séparément.



Insérer une nouvelle ligne après la ligne actuelle
Crée une nouvelle section transversale en divisant la section transversale actuelle en deux parties égales. *s** reste le même mais peut être édité séparément.



Supprimer les lignes sélectionnées
Après avoir supprimé les lignes sélectionnées, la section transversale précédente sera étendue.

Editer les cellules

Le point de départ *x d*'une section transversale peut être modifié à n'importe quelle valeur entre la valeur *x* précédente et la valeur *x* suivante. La modification de x permet également d'ajuster la longueur de la section transversale actuelle et de la section transversale précédente en conséquence. Les valeurs de *x en* dehors de cette plage seront rejetées.

La longueur L d'une section transversale peut être modifiée, mais le point final de la section transversale doit se trouver à gauche de la fin de la section transversale suivante. La longueur de la section transversale suivante sera ajustée en conséquence.

6.5.11.4. Calcul des armatures des poutres selon l'Eurocode2

Symboles, propriétés des matériaux, facteurs partiels	
f_{cd}	Valeur calculée de la résistance à la compression du béton
f_{ctd}	Valeur de calcul de la limite d'élasticité du béton
α	= 0,85 ; un coefficient, qui tient compte de la charge soutenue et d'autres effets défavorables
γ_c	= 1,5 ; coefficient de sécurité du béton
f_{yd}	Valeur de calcul de la limite d'élasticité de l'acier HA
ε_{su}	Limitation de la déformation de l'acier HA
E_s	(=200 kN/mm2) ; Module de Young de l'acier HA
γ_s	= 1,15 ; coefficient de sécurité de l'acier

Étude des cadres pour l'armature en cisaillement et en torsion

L'étude est basée sur les valeurs suivantes de résistance calculées à l'effort tranchant :

$V_{Rd,c}$ Résistance à l'effort tranchant calculée de la section transversale sans armatures de cisaillement.

$V_{Rd,max}$ Effort tranchant maximal pouvant être transmise sans défaillance des HA diagonaux de compression.

$V_{Rd,s}$ Résistance à l'effort tranchant calculée de la section transversale avec armatures d'effort tranchant

$T_{Rd,c}$ Résistance à la torsion calculée de la section transversale sans armatures de cisaillement.

$T_{Rd,max}$ Moment de torsion maximal pouvant être transmis sans défaillance aux aciers HA inclinés de compression.

AxisVM calcule l'armature d'effort tranchant et de torsion en supposant que l'angle d'inclinaison de la fissuration de cisaillement est de 45° . La relation entre la capacité des aciers HA inclinés à la compression et les valeurs de calcul est vérifiée.

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}}\frac{T_{Ed}}{T_{Rd,max}} \le 1,$$

où

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} b_w z \nu_1 f_{cd}}{\cot\theta + \tan\theta}$$

et

$$T_{Rd,max} = 2\nu\alpha_{cw} f_{ctd} t_{efi} A_k \sin\theta\cos\theta$$

Si la section transversale ne cède pas, on vérifie si une armature d'effort tranchant et de torsion est nécessaire selon la formule

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,c}} + \frac{T_{Ed}}{T_{Rd,c}} \le 1,$$

où $V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} k (100 \varrho_l f_{ck})^{1/3} k_1 \sigma_{cp}\right] b_w d$ et $T_{Rd,c} = 2 f_{ctd} t_{efi} A_k$

Si une armature d'effort tranchant et de torsion est nécessaire,

$$\frac{\sum A_{sl} f_{yd}}{u_k} = \frac{T_{Ed}}{2A_k} \cot\theta$$

Donc

$$A_{sl} = \frac{T_{Ed} u_k}{2A_k f_{yd} \tan\theta}$$

L'espacement des cadres d'effort tranchant et de torsion est calculé à partir de ces formules :
$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} \cot\theta$ et $V_{Rd,s} \geq V_{Ed} V_{Edi}$,

$$s = \frac{A_{sw}}{V_{Ed} + V_{Edi}} z f_{ywd} \cot\theta$$

La méthode des fermes à angle variable (Eurocode EN 1992-1-1 § 6.2.3 page 81) permet de réaliser des économies importantes d'armature d'effort tranchant si les bielles en béton comprimées ont une résistance supplémentaire, c'est-à-dire

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} + \frac{T_{Ed}}{T_{Rd,max}} \ll 1$$

En changeant l'angle d'inclinaison de la fissuration de cisaillement, les bielles de béton en compression sont plus sollicitées alors que les armatures d'effort tranchant sont moins sollicitées. L'économie réelle dépend des règles d'étude.
Si l'utilisateur choisit la méthode des fermes à angle variable, AxisVM détermine la direction de la fissuration de cisaillement entre 21,8° (ctgΘ=2,5) et 45° (ctgΘ=1) avant le calcul de l'armature afin que l'exploitation des bielles de béton de compression inclinées atteigne son maximum (au maximum 100%).
L'angle d'inclinaison de la fissuration de cisaillement est augmenté par petites étapes pour répondre à l'exigence

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} + \frac{T_{Ed}}{T_{Rd,max}} \leq 1$$

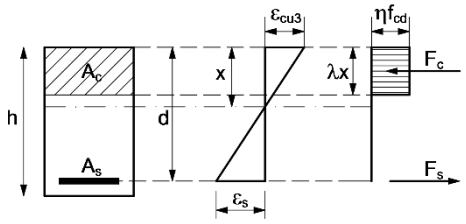
☞ **La section transversale cède si l'effort tranchant critique est supérieure à la résistance à l'effort tranchant des bielles en béton comprimé, c'est-à-dire**

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} + \frac{T_{Ed}}{T_{Rd,max}} > 1$$

Règles d'étude appliquées dans le calcul :
Sur la base de l'équation 9.2.2 (9.5N) $\rho_{w;min} = 0.08\sqrt{f_{ck}}/f_{yk}$ et de l'équation 9.2.2 (9.4) $\rho_w = A_{sw}/sb_w$Le ratio d'armature d'effort tranchant est donc de $s_{max,1} = A_{sw}/\rho_{wmin} b_w$ Le point 9.2.2 (9.6N) stipule que: $s_{max,2} = 0.75$ d.

Armatures des poutres longitudinales

Lors d'étude de l'armature des poutres en béton, on suppose que les aciers HA cèdent en traction et que la zone de béton comprimé atteint la limite de déformation par compression.
Dans la zone comprimée, on considère la distribution rectangulaire des contraintes (EC2 3.1.7. (3)).



Le logiciel conçoit des armatures longitudinales comprimées si la hauteur de la zone comprimée dépasse une hauteur limite. Au-delà de cette limite, la contrainte n'atteint pas la limite d'élasticité dans l'armature tendue et on ne peut pas supposer qu'elle soit élastique.

Les armatures supérieures et inférieures nécessaire le long de la poutre et le décalage du diagramme des moments sont calculés pour chaque cas de charge.

En raison de la fissuration inclinées, l'armature de traction est conçue pour une force supérieure à celle calculée à partir de *M/z*.
Les différentes normes en tiennent compte en décalant le diagramme des moments.

Les valeurs minimales *(Mmin 0≤)* et maximales *(Mmax 0≥) du* diagramme des moments et l'armature correspondante du côté de la traction et de la compression sont déterminés. L'armature de traction est affichée en bleu, l'armature de compression en rouge, l'armature de traction minimale requise par le code d'étude apparaît en gris.

Dans le cas des aciers HA longitudinaux conçus comprimés, l'espacement des cadres ne peut pas être supérieur à 20 fois le diamètre des aciers HA principaux conçues comprimés.

La fissuration est calculée selon le point *6.5.7.1. Calcul de la fissuration selon l'Eurocode 2*

6.5.11.5. Calcul des armatures des poutres selon la norme DIN 1045-1

DIN 1045-1

Symboles, propriétés des matériaux, facteurs partiels	
f_{cd}	Valeur calculée de la résistance à la compression du béton
f_{ctm}	Valeur moyenne de la résistance à la traction du béton
α	= 0,85 ; un coefficient, qui tient compte de la charge soutenue et d'autres effets défavorables
γ_c	= 1,5 ; coefficient de sécurité du béton
f_{yd}	Valeur calculée de la limite d'élasticité de l'acier HA
ε_{su}	Allongement ultime de l'acier HA
E_s	(=200 kN/mm2) ; Module de Young (d'élasticité) de l'acier HA
γ_s	= 1,15 ; coefficient de sécurité de l'acier

Étude des cadres pour les armatures d'effort tranchant et de torsion

L'étude est basée sur les trois valeurs suivantes de résistance à l'effort tranchant :

$V_{Rd,c}$ Valeur de calcul de la résistance à l'effort tranchant de la section transversale sans armatures d'effort tranchant

$V_{Rd,max}$ Valeur de calcul de l'effort tranchant maximal pouvant être transmise sans défaillance des bielles de compression du béton

$V_{Rd,sy}$ Valeur de calcul de la résistance à l'effort tranchant de la section transversale avec armatures d'effort tranchant

Aucune armature d'effort tranchant n'est nécessaire si $V_{Ed} \leq V_{Rd,ct}$, DIN 1045-1 10.3.1 (2)
La section transversale ne cède pas si $V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$.
Si $V_{Ed} > V_{Rd,ct}$ il faut mettre en place une armature d'effort tranchant DIN 1045-1 10.3.1 (3)
L'espacement des cadres est déterminé de manière à répondre à l'exigence $V_{Ed} \leq V_{Rd,sy}$.

Pour les sections transversales avec armature d'effort tranchant nous pouvons choisir entre la méthode *normale* (fissuration à 45°) et la méthode de fermes à angle variable (*TAV*). (Eurocode EN 1992-1-1 § 6.2.3 page 81)
Si les barres de compression supposées ont une réserve ($V_{Rd,max} > V_{Ed}$) selon la méthode normale, la méthode TAV permettra de réaliser des économies considérables en matière d'armature d'effort tranchant.
En changeant l'angle d'inclinaison de la fissuration d'effort tranchant, les poutres en béton comprimé sont plus sollicitées alors que les armatures d'effort tranchant sont moins sollicitées.

Le programme calcule la valeur

$$\cot\Theta = \frac{1.2 - 1.4\frac{\sigma_{cd}}{f_{cd}}A_{sw}}{1 - \frac{V_{Rd,c}}{V_{Ed}}}$$

En cas de béton ordinaire : $0.58 \leq \cot\Theta \leq 3.0$
En cas de béton léger : $0.58 \leq \cot\Theta \leq 2.0$ DIN 1045-1 10.3.4 (3)

La méthode normale suppose que l'angle de la fissuration de cisaillement est de 45°, donc $\cot\Theta = 1$
$V_{Rd,sy} = \frac{A_{sw}}{s_w} f_{yd} z \cot\Theta$ DIN 1045-1 10.3.4 (7)
Est la résistance à l'effort tranchant due à l'armature d'effort tranchant.

Si la torsion est considérable, AxisVM vérifie également la condition suivante :

$$\left[\frac{T_{Ed}}{T_{Rd,max}}\right]^2 \left[\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}}\right]^2 \leq 1$$ DIN 1045-1 10.4.2 (5)

Aucune armature calculée en effort tranchant et en torsion n'est nécessaire si
$\mathbf{T_{Ed} \leq V_{Ed} b_w / 4.5}$ et $\mathbf{V_{Ed}\left[1 + \frac{4.5 T_{Ed}}{V_{Ed} b_w}\right] \leq V_{Rd,ct}}$ DIN 1045-1 10.4.1 (6)

Armatures des cadres à partir du moment de torsion

Moment de torsion résistant sur la base de la rupture de la barre de béton comprimé :

$$T_{Rd,sy} = \frac{2A_{sw}}{s_w} f_{yd} A_k \cot\Theta$$

La distance entre les cadres :

$$\boldsymbol{s_w = \frac{2A_{sw}}{T_{Ed}} f_{yd} A_k \cot\Theta}$$

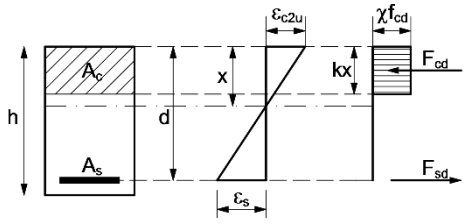
L'armature longitudinale est calculée à partir du moment de torsion $\mathbf{T_{Rd,sy} = \frac{2A_{sl}}{u_k} f_{yd} A_k \tan\Theta}$ **,**

Donc $\mathbf{A_{sl} = \frac{T_{Ed} u_k}{2 f_{yd} A_k \tan\Theta}}$ qui doit être placé de manière régulière le long du contour de la section transversale.

La distance réelle des cadres est prise en compte à partir de la synthèse de la distance des cadres n de torsion et de la distance des cadres de cisaillement **:**

$$s_w = \frac{1}{\frac{1}{s_{w,V}} + \frac{1}{s_{w,T}}}$$

Armature des poutres longitudinales sur la base de la norme DIN1045-1



Lors d'étude de l'armature des poutres en béton, on suppose que les aciers HA cèdent et que la zone de béton comprimé atteint la limite de déformation par compression.
Dans la zone comprimée, on considère la distribution rectangulaire des contraintes (DIN 1045-1 10.2.).

Le logiciel conçoit des armatures longitudinales comprimées si la hauteur de la zone comprimée dépasse une hauteur limite. Au-delà de cette limite, la contrainte n'atteint pas la limite d'élasticité dans l'armature tendue et on ne peut pas supposer qu'elle soit élastique.
Si le calcul donne une hauteur supérieure à x_0, la section transversale de l'acier en compression est appliquée, mais la somme de la section transversale de l'acier en compression et en traction ne peut pas dépasser 8 % de la section transversale du béton.

Le logiciel calcule pour chaque cas de charge et chaque section transversale l'armature inférieure et supérieure, ainsi que la variation du moment.
En raison de fissurations obliques, l'armature de traction est conçue pour une force de traction supérieure à celle calculée à partir de *M / z*.
Ceci est pris en compte par la norme en décalant le diagramme des moments (DIN 1045-1 13.2.2)
Les valeurs minimales *(M_{min} 0≤)* et maximales *(M_{max} 0≥) du* diagramme des moments, ainsi que les armatures de traction et de compression correspondants sont déterminées. Sur le diagramme des armatures, l'armature de traction est affichée en bleu, l'armature de compression en rouge, et l'armature de traction minimale selon le code d'étude en gris.
Dans le cas des barres longitudinales comprimées conçues, l'espacement des cadres ne peut pas être supérieur à 12 fois le diamètre des barres principales comprimées conçues.

Règles de construction prises en compte dans le programme

Ratio d'armature des cadres : $\rho_w = \frac{A_{sw}}{s} b_w$
D'après l'expression ci-dessus : $s_{max,1} = A_{sw}/\rho_w b_w$ où $\rho_w = 0.16 f_{ctm}/f_{yk}$
La valeur minimale de ρ_w peut être calculée à partir du tableau 29. De la norme DIN 1045-1 13.1.3

La distance s_{max} *entre les* cadres tient compte du tableau 31. De la norme DIN 1045-1 13.2.1
La distance maximale entre les cadres et les moments de torsion est de $u_k / 8$.

☞ **Le logiciel envoie un message d'avertissement et ne dessine aucun diagramme d'armature dans les cas suivants :**

Message Événement

La section transversale n'est pas acceptable pour le cisaillement / la torsion
L'une des conditions suivantes n'est pas remplie :

$$V_{Rd,max} > V_{Ed} \text{ ou } \left[\frac{T_{Ed}}{T_{Rd,max}}\right]^2 \left[\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}}\right]^2 \leq 1$$

Solution

Augmenter la section transversale du béton, et/ou la qualité du béton.

Message Événement

La section transversale n'est pas acceptable pour la flexion (As + As2 > 0,08 * Ac)
La section transversale de l'armature longitudinale est supérieure à 8 % de la section transversale du béton

Solution

Augmenter la section transversale du béton, et/ou de la qualité du béton, et/ou la qualité de l'acier.

6.5.11.6. Calcul des armatures des poutres selon la norme SIA 262:2003

SIA 262:2003

Symboles, propriétés des matériaux, facteurs partiels	
f_{cd}	Valeur calculée de la résistance à la compression du béton
f_{ct}	Valeur calculée de la limite d'élasticité du béton
γ_c	= 1,5 ; coefficient de sécurité du béton
f_{yd}	Valeur calculée de la limite d'élasticité de l'acier HA
ε_{su}	Allongement ultime de l'acier HA
E_s	(= 200 kN/mm2) ; Module de Young de l'acier HA
γ_s	= 1,15 ; coefficient de sécurité de l'acier
k_c	= 0,6 ; facteur de réduction pour la résistance à la compression du béton dans une zone fissurée

Étude des cadres pour les armatures d'effort tranchant et de torsion

L'étude des armatures d'effort tranchant est basée sur trois valeurs de la résistance à l'effort tranchant:

V_{Rd} Résistance à l'effort tranchant de la section transversale sans armature d'effort tranchant.
$V_{Rd,c}$ Effort tranchant maximal qui peut être transmis sans la défaillance des bielles de compression du béton
$V_{Rd,s}$ Résistance à l'effort tranchant de la section transversale avec l'armature d'effort tranchant.

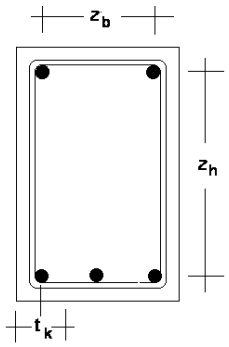
Aucune armature d'effort tranchant n'est nécessaire si $V_d \leq V_{Rd}$

$V_{Rd} = k_d \tau_{cd} d b_w$ Où $k_d = \frac{1}{1+k_v d}$ d en m, $k_v = 2.5$

La section transversale du béton ne cède pas si $V_{Rd,c} \geq V_d$

$V_{Rd,c} = b_w z k_c f_{cd} \sin\alpha \cos\alpha$

Si $V_d \geq V_{Rd,c}$, il faut concevoir des armatures d'effort tranchant.
La distance entre les cadres est déterminée à partir de l'expression $V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{sd} \cot\alpha$
L'espacement des cadres est $s = \frac{A_{sw}}{V_d} z f_{sd} \cot\alpha$
Force longitudinale due à l'effort tranchant : $F_{td} = V_{Rd} \cot\alpha$
Armature longitudinal supplémentaire : $\Delta A_{sl} = V_{Rd} \cot\alpha / f_{sd}$
qui doit être placé ½ à la zone de traction, ½ à la zone de compression.
Effort tranchant due à la torsion : $V_{d,i} = \frac{T_d}{2A_k} z_i$
Effort tranchant dans une fibre verticale : $V_{d,h} = T_d / 2 z_b$
Effort tranchant dans une fibre horizontale : $V_{d,b} = T_d / 2 z_h$
Le programme vérifie l'expression suivante $\frac{V_d}{V_{Rd,c}} \frac{V_{di}}{V_{Rd,ci}} \leq 1$,
Où $V_{Rd,ci} = t_k z_h k_c f_{cd} \sin\alpha \cos\alpha$
Distance du cadre par rapport à la torsion : $s = A_{sw} \frac{2 z_h z_b}{T_d} f_{sd} \cot\alpha$



Armatures longitudinales par torsion :

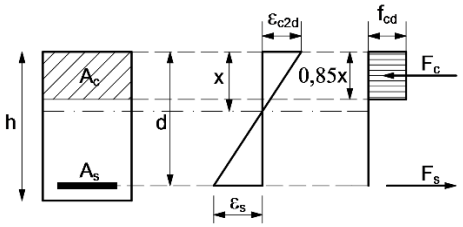
$$A_{slT} = \frac{\sum V_{d,i} \cot\alpha}{f_{sd}} = \frac{\frac{T_d}{z_h z_b}(z_h + z_b)\cot\alpha}{f_{sd}}$$

Qui doit être placé de manière régulière le long du contour de la section transversale.

La distance réelle des cadres est prise en compte à partir de la synthèse de la distance des cadres de torsion et de la distance des cadres de cisaillement **:**

$$s_w = \frac{1}{\frac{1}{s_{w,V}} + \frac{1}{s_{w,T}}}$$

Armatures des poutres longitudinales sur la base de la norme SIA 262:2003



Lors d'étude de l'armature des poutres en béton, on suppose que les aciers HA cèdent et que la zone de béton comprimé atteint la limite de déformation par compression.
Dans la zone comprimée, on considère la distribution rectangulaire des contraintes (SIA262 4.2.1.4).

Le logiciel conçoit des armatures longitudinales comprimées si la hauteur de la zone comprimée dépasse une hauteur limite. Au-delà de cette limite, la contrainte n'atteint pas la limite d'élasticité dans l'armature tendue et on ne peut pas supposer qu'elle soit élastique.
En raison de fissurations obliques, l'armature de traction est conçue pour une force de traction supérieure à celle calculée à partir de *M / z*.
Ceci est pris en compte en déplaçant le diagramme des moments.
Les valeurs minimales *(M_{min} 0≤)* et maximales *(M_{max} 0≥) du* diagramme des moments, ainsi que les armatures de traction et de compression correspondants sont déterminées. Sur le diagramme des armatures, l'armature de traction est affichée en bleu, l'armature de compression en rouge, et l'armature de traction minimale selon le code d'étude en gris.
Dans le cas des barres longitudinales conçues comprimées, l'espacement des cadres ne peut pas être supérieure à 15 fois le diamètre des barres principales comprimées conçues.

Règles de construction prises en compte dans le programme

Intervalle maximum entre cadres :

$$s_{max} = \frac{A_{sw} f_{yk}}{0.2 \cdot b_w f_{ctm} \sin \alpha} \leq 400 \text{ mm}$$

☞ **AxisVM envoie un message d'avertissement et ne dessine aucun schéma d'armature dans les cas suivants:**

Message
Événement
Solution

La section transversale n'est pas acceptable pour le cisaillement / la torsion
L'exploitation de la section transversale du béton est supérieure à 1.
Augmenter la section transversale du béton, et/ou la qualité du béton.

6.5.12. Conception au feu des poutres et poteaux en béton armé - module RC8-B

La conception incendie des poteaux et poutres en béton armé peut être réalisée dans le logiciel selon les directives des codes de conception Eurocode 2 et SIA 262 si le module RC8-B est disponible. La conception incendie est basée sur la conception conventionnelle, **le module RC2 est donc un prérequis pour utiliser le module RC8-B**. Dans cette description, seules sont décrites les parties, les règles et les procédures qui sont différentes ou qui ne sont pas utilisées dans le cadre de la conception conventionnelle.
La conception incendie des poutres et poteaux en béton armé peut être effectuée dans AxisVM si la combinaison de charges sélectionnée comprend un cas de charge d'incendie (*6.5.7*.1. *Calcul de la fissuration selon l'Eurocode* 2)et si un effet d'incendie a été attribué à l'un des éléments sélectionnés (*4.10.33 Effet du feu sur les éléments linéaires en béton - module RC8-B*)). dans ce cas de charge d'incendie.
Si des effets d'incendie différents ont été attribués aux éléments sélectionnés, un message d'erreur apparaît et la conception incendie ne peut pas être effectuée.
La conception incendie doit être activée dans la boîte de dialogue des paramètres de conception (voir ci-dessous).

Codes de conception

Le calcul peut être effectué selon l'Eurocode 2 et la SIA 262. Pour une liste des annexes nationales Eurocode supportées, voir le chapitre précédent sur la définition de la charge d'incendie (voir... *4.10.33 Effet du feu sur les éléments linéaires en béton - module RC8-B*)

Analyse des membrures

La norme EN 1992-1-2 aborde différentes méthodes : l'analyse des membrures, l'analyse d'une partie de la structure et l'analyse de la structure entière. L'analyse des membrures est la méthode de vérification la plus répandue en raison de sa simplicité. L'analyse d'une partie ou de la totalité de la structure nécessite généralement des modèles numériques non linéaires complexes et une analyse statique non linéaire.

Principes directeurs de l'analyse des éléments selon la norme EN1992-1-2:

- Les forces internes des éléments de conception peuvent être calculées par une analyse statique linéaire ;
- "Seuls les effets des déformations thermiques résultant des gradients thermiques à travers la section transversale doivent être considérés. Les effets des dilatations thermiques axiales ou dans le plan peuvent être négligés." (EN1992-1-2, 2.4.2 (4)) ;
- Les conditions aux limites aux supports et aux extrémités de l'élément, applicables au temps t = 0, sont supposées rester inchangées pendant toute l'exposition au feu." (EN1992-1-2, 2.4.2 (5)).

RC8-B effectue l'analyse des éléments. Il faut vérifier si la structure/partie de la structure actuelle peut être vérifiée avec l'analyse des éléments selon les directives du code de conception.

Dans certains cas, l'analyse d'une partie de la structure peut également être exécutée dans AxisVM si 1) les conditions limites sont définies avec soin, 2) les effets du feu sont pris en compte comme charge thermique et 3) nous considérons les directives de la section 2.4.3 de l'EN1992-1-2.

Base de la conception incendie

La base de la conception incendie dans AxisVM est la méthode de calcul simplifiée de la norme EN 1992-1-2. Les méthodes prescriptives combinées à l'analyse des éléments permettent de concevoir l'incendie des éléments structurels exposés à un incendie standard ou paramétrique.
Le calcul simplifié utilise la méthode dite de l'isotherme 500°C, selon laquelle les sections de béton dont la température est supérieure à 500°C sont considérées comme des zones endommagées et sont ignorées dans le calcul de la résistance transversale. Le noyau de béton en dessous de 500°C est considéré avec sa résistance et sa rigidité à température normale. La rigidité et la résistance de l'acier d'armature sont réduites en fonction de leur température.

Messages d'erreur et d'avertissement possibles

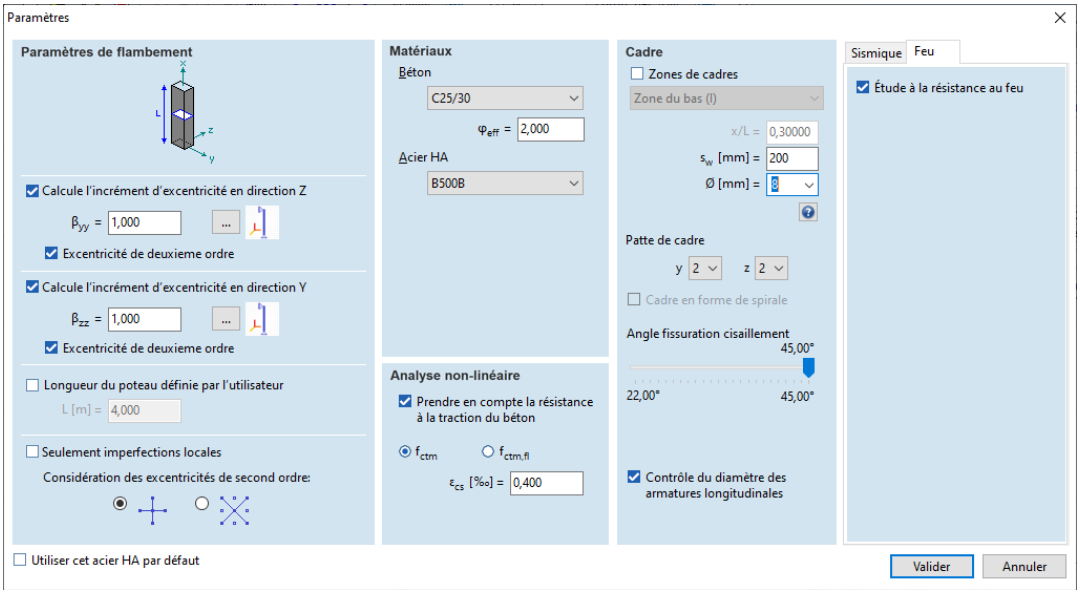
La conception au feu des poutres et des poteaux en béton armé peut être effectuée dans AxisVM si 1) la combinaison de charges sélectionnée comprend un cas de charge feu et 2) un effet d'incendie a été attribué à l'un des éléments sélectionnés dans ce cas de charge d'incendie. De plus, si des effets de feu différents ont été assignés aux éléments, la conception incendie ne peut pas être effectuée. Si l'un de ces critères n'est pas rempli, un message d'erreur apparaît.
Dans le cas des colonnes en béton armé, la conception incendie peut être effectuée pour la section originale de l'élément. Cela conduit également à une erreur si les combinaisons sélectionnées (enveloppe ou critique) proviennent de différentes situations de conception (par exemple, accidentelle, persistante, sismique) parce que leurs facteurs partiels sont différents et la surface d'interaction N-M ne peut pas être générée correctement.

- Dans le cas des poutres en béton armé, il existe des cas supplémentaires où la conception en cas d'incendie ne peut pas être effectuée comme suit : poutres en T inversé : la charge d'incendie ne peut pas être attribuée à ce type de sections transversales,
- Poutres en T : si une exposition en T n'a pas été sélectionnée parmi les paramètres de charge d'incendie,
- Poutres en T et poutres en T inversé : si la conception pour les forces internes Vy-Mz a été sélectionnée dans la fenêtre Paramètres de renforcement des poutres.

Si la conception incendie ne peut pas être effectuée, le logiciel supprime de la liste les combinaisons accidentelles avec charge incendie et effectue la conception du poteau/poutre pour les combinaisons conventionnelles restantes dans l'enveloppe ou dans l'ensemble critique.

Comme dans le cas des éléments en acier et en bois, la conception incendie doit être activée dans la boîte de dialogue des paramètres de conception. Le logiciel envoie un avertissement si la conception incendie n'est pas activée, bien que la charge incendie ait été attribuée à l'élément.
Il existe des NA qui ne permettent pas l'utilisation de l'annexe D de la norme EN 1992-1-2. La vérification de la conception en cisaillement et en torsion n'est pas disponible pour ces Annexes nationales car la conception en cisaillement et en torsion est basée sur les recommandations et les directives de cette Annexe. Le logiciel affiche un message d'avertissement si tel est le cas. Il est important de noter que cela ne signifie pas que l'effet du cisaillement et de la torsion est négligeable.

Poteaux en béton armé



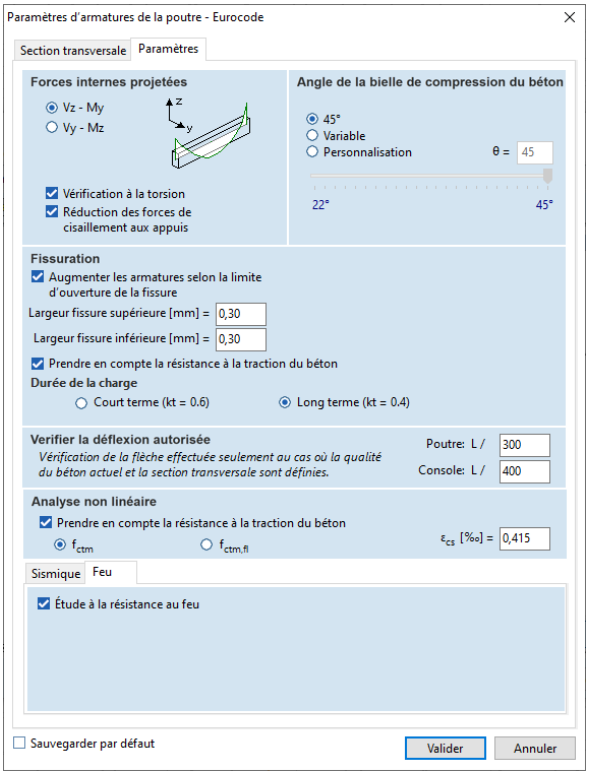
Vérification contre la flexion avec ou sans force axiale.

- Les recommandations et directives de l'annexe B de la norme EN 1992-1-2 sont prises en compte dans le calcul de la surface d'interaction N_x-M_y-M_z
- Les excentricités accidentelles sont calculées comme décrit dans l'EN 1992-1-1 et la SIA 262, mais avec une résistance et une rigidité de section réduites en raison des couches de béton extérieures endommagées et du changement des propriétés du béton et de l'acier à température élevée.

Contrôle de cisaillement et de torsion

- - La vérification du cisaillement et de la torsion à température élevée est basée sur l'annexe D de la norme EN 1992-1-2.
- - La température élevée des cadres est prise en considération.
- - La résistance au cisaillement et à la torsion sans armature de cisaillement est négligée dans le calcul (EN 1992-1-1: $V_{Rd,c}$ = 0 and $T_{Rd,c}$ = 0; SIA262: V_{Rd} = 0 and T_{Rd} = 0).

Poutre en béton armé



Vérification à la flexion

- - Les recommandations et les directives de l'annexe B de la norme EN 1992-1-2 sont prises en considération lors de la vérification ou de la conception des armatures longitudinales.
- - La conception est basée sur les équations d'équilibre présentées dans les sections précédentes. Ces équations sont formulées avec une section transversale réduite. Le béton endommagé dont la température est supérieure à 500°C est négligé dans le calcul. La résistance modifiée de chaque armature est prise en compte en fonction de la température de l'armature.

Contrôle de cisaillement et de torsion

- - La vérification du cisaillement et de la torsion à température élevée est basée sur l'annexe D de la norme EN 1992-1-2.
- - La température élevée des étriers est prise en compte.
- - La résistance au cisaillement et à la torsion sans armature de cisaillement est négligée dans le calcul. (EN 1992-1-1: $V_{Rd,c}$ = 0 and $T_{Rd,c}$ = 0; SIA262: V_{Rd} = 0 and T_{Rd} = 0).

6.5.13. Analyse de poinçonnement - module RC3

Normes

L'analyse de poinçonnement peut être effectuée selon les normes suivantes :
Eurocode : *EN 1992-1-1:2010*
Norme suisse : *SIA 262:2013*

Les contrôles d'étude suivants sont inclus :
- poteau et dalle en béton armé (y compris les dalles de base),
- extrémité/angle du mur et dalle en béton armé (y compris les dalles de base).

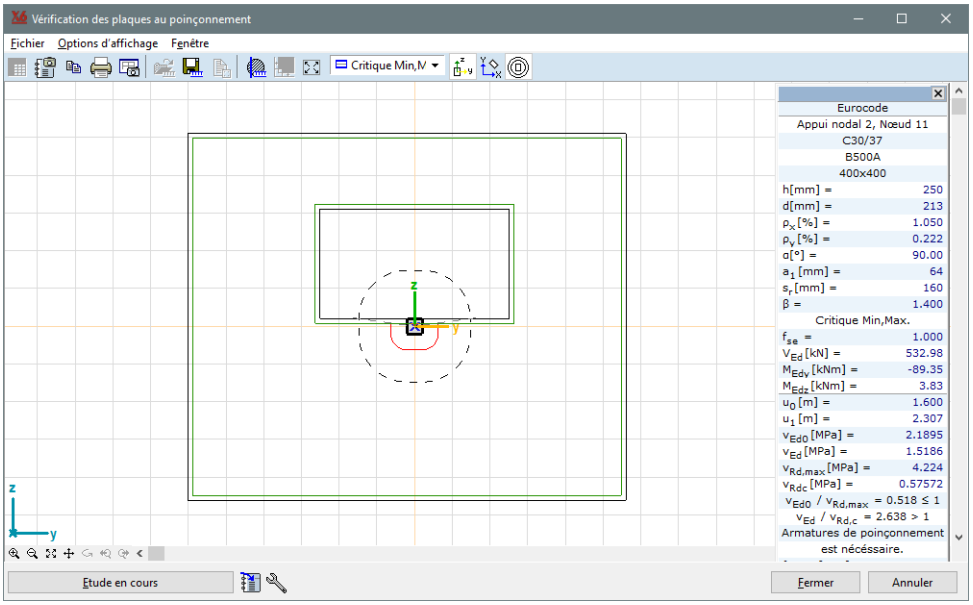
Le contrôle de la résistance des bielles de compression et le calcul des armatures d'effort tranchant nécessaires sont intégrés.

Cette fonctionnalité est disponible pour les types de domaines suivants (voir... *4.9.6 Domaine*):
- domaines normaux,
- domaines nervurés composites,
- domaines nervurés paramétriques,
- domaines avec matrice de rigidité personnalisée,
- dalles AIRDECK,
- dalles composites avec hourdis en tôle trapézoïdale (si l'option *hourdis trapézoïdal utilisé uniquement comme coffrage* est cochée).

Ouvertures et contour de la dalle

Le module RC3 reconnaît automatiquement les domaines qui sont plus proches que 6d (six fois l'épaisseur effective de la plaque) de l'extrémité du Poteau ou du mur sélectionné. Pour trouver le périmètre de poinçonnement Il est important de décider si une ouverture doit être considérée comme une ouverture ou si sa taille rend nécessaire de la traiter comme un bord de la dalle. Les bords des ouvertures de plus de 2 m^2 au bord de la dalle et les bords des ouvertures intérieures de plus de 5 m^2 sont considérés comme un bord de la dalle.

Si plusieurs domaines sont connectés au poteau ou si plusieurs domaines de connexion sont sélectionnés, celui qui a la plus petite épaisseur sera analysé. S'il n'y a qu'un seul domaine sélectionné, celui-ci sera choisi pour l'analyse du poinçonnement.



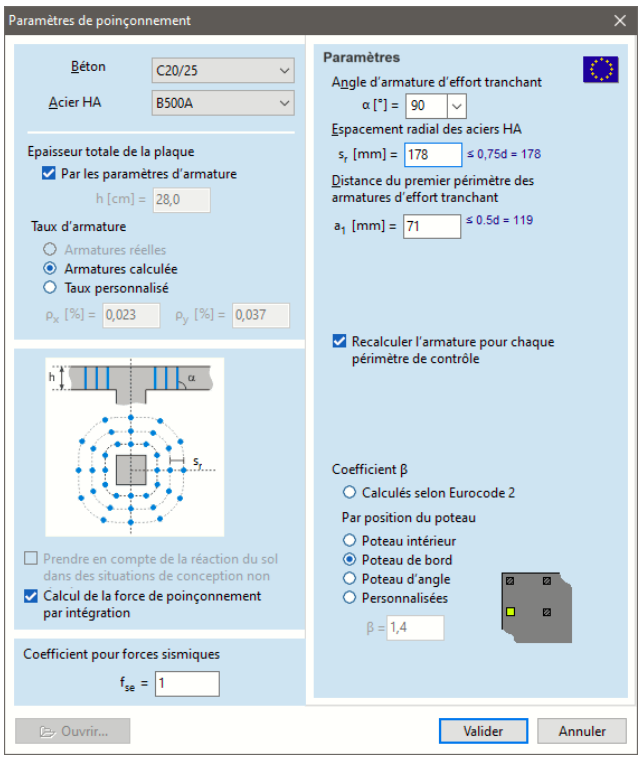
6.5.13.1. Analyse de poinçonnement selon l'Eurocode

6.5.13.1.1. Analyse de poinçonnement des poteaux selon l'Eurocode

Les périmètres de contrôle du cisaillement par poinçonnement sont déterminés en fonction de la section transversale du poteau et de l'épaisseur effective de la plaque. Les bords et les trous des plaques sont pris en compte s'ils sont plus proches du poteau que six fois l'épaisseur effective de la plaque. Si la section transversale du poteau est concave, une section transversale convexe est utilisée à la place.

☞ **Si un élément de nervure est relié au poteau dans le plan de la plaque, l'analyse ne peut pas être effectuée !**

L'analyse du poinçonnement est activée si les paramètres d'armatures et l'armature réel sont définis et attribués à la dalle en béton armé.
Après avoir cliqué sur le bouton d'outil, veuillez sélectionner un poteau ou un appui dont les rigidités sont calculées à partir des paramètres du poteau pour l'analyse (si un élément de nervure est connecté au poteau dans le plan de la plaque, l'analyse ne peut pas être effectuée).



Matériau

Qualité béton, qualité acier HA

Béton et acier HA utilisés dans le calcul. Tout d'abord, ces paramètres sont automatiquement sélectionnés en fonction des paramètres du projet, mais ils peuvent être modifiés dans la fenêtre.

Épaisseur de la plaque (h)

L'épaisseur de la plaque est automatiquement sélectionnée, mais elle peut être modifiée dans cette fenêtre si le *paramètre Par armature* est désactivé. Dans la fenêtre d'information, l'épaisseur minimale de la « tête de champignon » est affichée comme étant H1. L'épaisseur minimale du « pied de champignon » sans armature par poinçonnement est affichée comme H2.

Ratio d'armature

Les ratios d'armature (ρ_x, ρ_y) peuvent être pris à partir de l'armature réelle ou calculée ou du *ratio personnalisé* défini et spécifié manuellement.

Paramètres

Angle d'armature de cisaillement

Angle entre la plaque et les armatures de cisaillement par poinçonnement (45°-90°).

Espacement des aciers HA radiales

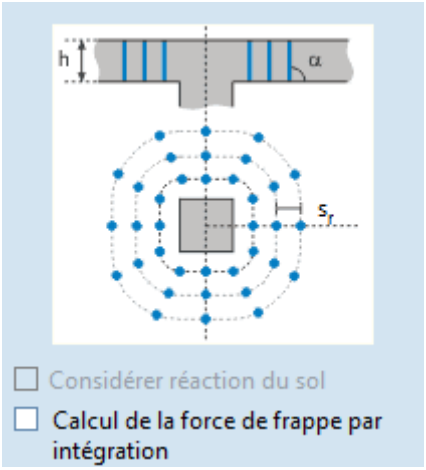
L'espacement radial des aciers HA est la différence entre les rayons de deux périmètres voisins d'armature de cisaillement.
Le bouton **VALIDER** n'est pas disponible tant que le critère d'étude de base n'est pas rempli : $s_r \leq 0.75 \cdot d$. (Section transversale 9.4.3. (1))

Distance du premier périmètre d'armature de cisaillement

Distance du premier périmètre de poinçonnement de l'armature de cisaillement par rapport au bord convexe du poteau.

Calcul de la force de poinçonnement

Par défaut, la force de poinçonnement est calculée à partir de la différence des forces axiales des poteaux connectées. Cochez *Calcul de la force de poinçonnement par intégration* pour trouver la force de poinçonnement par intégration des forces de cisaillement de la dalle. La ligne d'intégration se trouve à *2d du* contour convexe du poteau.
Dans le cas des plaques de base, la force de poinçonnement est intégrée à une distance de 0,5d du contour convexe du poteau ($V_{Ed,0}$). Cette valeur est utilisée pour vérifier la résistance des bielles de compression en béton (par rapport à la valeur de calcul de la résistance maximale au cisaillement par poinçonnement).



Processus de calcul

L'armature de poinçonnement nécessaire est calculée sur la base des principes suivants :
L'assemblage poteaux-dalles ne se rompt pas si la contrainte de cisaillement est inférieure ou égale à la valeur de calcul de la résistance maximale au poinçonnement le long de la section transversale de contrôle et à la valeur de calcul de la résistance au poinçonnement de la plaque avec armature de poinçonnement :

$$v_{Ed} \leq v_{Rd,max} \text{ et } v_{Ed} \leq v_{Rd,cs}$$

v_{Ed} Valeur calculée de la contrainte de cisaillement
$v_{Rd,max}$ Valeur calculée de la résistance maximale au cisaillement par poinçonnement le long de la section transversale de contrôle
$v_{Rd,cs}$ Valeur de calcul de la résistance au poinçonnement de la plaque avec renforcement du poinçonnement

$$v_{Ed} = \beta \frac{V_{Ed}}{u_i \cdot d}$$

où u_i est la longueur du périmètre de contrôle, *d est l'*épaisseur effective moyenne de la plaque.

β est un facteur exprimant une contrainte supplémentaire dû à des forces excentriques :

$$\beta = 1 + k \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \cdot \frac{u_i}{W_1}$$

L'Eurocode suppose que la section transversale critique se trouve à une distance de *2d* du bord de la section transversale. La longueur du périmètre critique et le moment statique sont calculés en tenant compte des bords des plaques et des trous de la géométrie réelle.
La valeur calculée de la résistance au poinçonnement de l'assemblage sans armatures de cisaillement par poinçonnement est :

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c}k(100\rho_1 f_{ck})^{1/3} + k_1\sigma_{cp} \geq v_{min} + k_1\sigma_{cp}$$
$$\rho_1 = \sqrt{\rho_x \rho_y} \quad (\rho_1 = \sqrt{\rho_\xi \rho_\eta} \text{ en cas armature inclinées})$$

Si $v_{Ed} > v_{Rd,c}$ l'armature de poinçonnement nécessaire est alors déterminée le long du périmètre critique

$$v_{Rd,cs} = 0.75 \cdot v_{Rd,c} + 1.5 \cdot \frac{d}{s_r} \cdot \frac{A_{sw} f_{ywd,ef}}{u_1 d} \sin\alpha\,; \;\; v_{Ed} \leq v_{Rd,cs}$$

L'armature pour chaque périmètre et le périmètre où aucune armature de poinçonnement n'est nécessaire est calculé sur la base de la formule :

$$v_{Ed} = \beta \frac{V_{Ed}}{u_i d} \leq v_{Rd,c}$$

Facteur β

Calculé (6.4.3. (3) (6.39))	$1 + k\frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \cdot \frac{u_1}{W_1}$	
Valeur approximative par position du poteau (6.4.3. (6))*	*Poteau interne*	*1,15*
	Poteau de bord	*1,4*
	Poteau de coin	*1,5*
Personnalisation	*valeur spécifiée par l'utilisateur*	

*Pour les structures où la stabilité latérale ne dépend pas de l'action du cadre entre les dalles et les poteaux, et où les travées adjacentes ne diffèrent pas de plus de 25% en longueur.

Prendre en compte la réaction du sol

Si cette option est cochée, la réaction du sol à l'intérieur du cercle d'aciers HA est prise en compte dans le calcul de la force de poinçonnement. Cet effet augmente avec le rayon et peut réduire la taille de la zone d'armature nécessaire. Ses valeurs par cercle d'armature sont indiquées dans la boîte de dialogue des résultats de l'analyse du poinçonnement.
Le programme vérifie la résistance au cisaillement par poinçonnement selon la norme EN 1992-1-1 6.4.4. (2) le long des périmètres de contrôle à moins de 2d (deux fois l'épaisseur de la dalle) de distance du bord du poteau.

Vous pouvez voir le coefficient des forces sismiques à *4.10.24. Charges sismiques - module SE1.*

Ouvrir... Charge un jeu de paramètres enregistré.

Après avoir saisi tous les paramètres, des périmètres de contrôle apparaissent et le nombre requis d'aciers HA de poinçonnement est affiché dans la fenêtre d'information.

AxisVM calcule les parties effectives du périmètre de contrôle en fonction des bords et des trous des plaques. Des lignes continues montrent qu'une armature est nécessaire. AxisVM affiche la quantité d'armature nécessaire pour chaque ligne. La fenêtre d'information indique la quantité d'armature critique pour le poinçonnement. Lors du calcul de la longueur du périmètre critique, on suppose que l'espacement des aciers HA sur le périmètre n'est pas supérieur à *2d,* mais le respect de cette exigence n'est pas vérifié. Si cette exigence n'est pas remplie, l'utilisateur doit choisir un diamètre plus petit ou placer des aciers HA supplémentaires.

Calculer l'armature pour chaque périmètre de contrôle

Si cette option est cochée, l'armature des périmètres de contrôle au-delà de *2d* sera calculé à partir de la longueur réelle du périmètre. Pour les périmètres de contrôle inférieurs à *2d,* l'armature calculé pour le périmètre critique est appliquée.
Si cette option n'est pas cochée, l'armature calculée pour le périmètre critique sera utilisé pour tous les périmètres.

Les résultats pour le périmètre critique sont d'abord calculés (ils sont affichés dans la boîte de dialogue des *résultats de l'analyse de poinçonnement*). Ensuite, la quantité d'armature nécessaire est déterminée pour les cercles d'armatures définis dans la boîte de dialogue des paramètres. Le périmètre critique est rouge, les cercles d'armature sont noirs. La ligne en pointillés montre le périmètre où la distance des points du poteau est six fois l'épaisseur effective de la plaque.
Une fine ligne bleue indique le périmètre où aucune armature de poinçonnement n'est nécessaire.
C'est également le contour de la tête du champignon qui peut être conçu avec une épaisseur $h_{min,2}$ et sans armatures de poinçonnement.

Une ligne bleue épaisse indique le périmètre où la force de poinçonnement critique dépasse la résistance à la compression du béton, de sorte que l'épaisseur de la plaque d'origine ne peut pas être correctement renforcée par les aciers HA. C'est le contour de la tête du champignon qui peut être conçu avec une épaisseur $h_{min,1}$ et avec une armature de poinçonnement. La capacité de résistance au poinçonnement peut être augmentée en plaçant une plaque plus épaisse, en utilisant une meilleure qualité de béton ou des poteaux de plus grande section transversale.



Sauvegarde le dessin dans la Bibliothèque des dessins.



Charge un ensemble de paramètres de poinçonnement sauvegardés.



Sauvegarde les paramètres de poinçonnement actuels sous un nom. Vous pouvez recharger les paramètres sauvegardés avec le bouton *Chargement...* dans la boîte de dialogue des *paramètres de poinçonnement*



Dialogue des paramètres de poinçonnement.



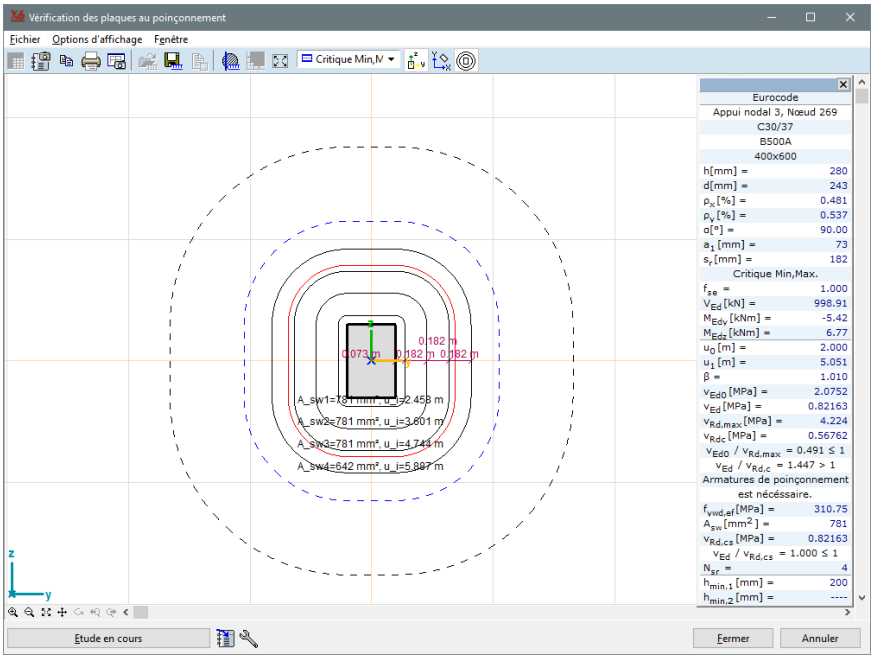
Agrandi la limite de la plaque de sorte que toute la section transversale du poteau se trouve à l'intérieur de la limite.



Adapte le diagramme à la fenêtre.

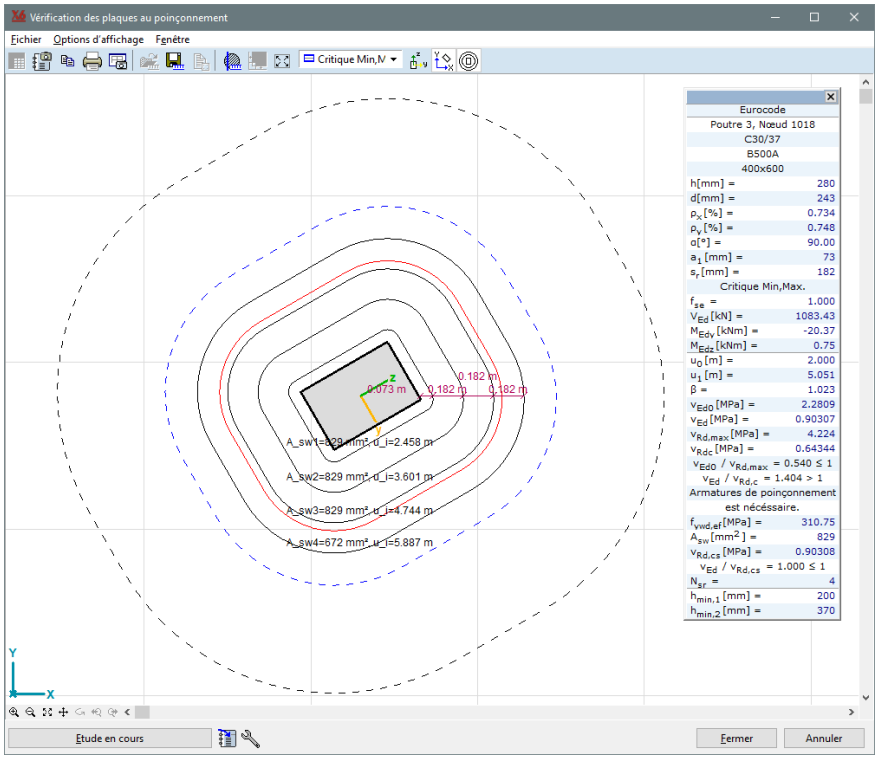


Les coordonnées locales des poteaux sont utilisées.



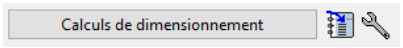


Les coordonnées globales sont utilisées.





Active et désactive l'affichage des cercles d'aciers HA.



Pour suivre les calculs de conception en détail, cliquez sur le bouton
Calculs de conception. Voir... également ... *6.6 Étude acier* et *6.6.1.3 Diagrammes et calculs d'étude*



En cliquant sur cette icône, le calcul d'étude est ajouté au rapport actuel.



Cliquer sur l'icône *Paramètres* à côté du bouton *Calculs d'étude* permet de régler les unités de force et de longueur utilisées dans les calculs d'étude.

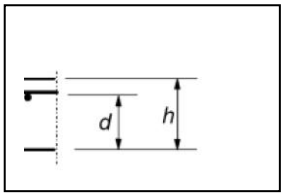
Fenêtre d'information

Sous le code d'étude, l'identificateur d'élément et les matériaux, les paramètres suivants sont affichés.

Eurocode	
Poutre 2, Nœud 10	
C30/37	
B500A	
PCA_2 0x20	
h[mm] =	180
d[mm] =	138
ρ_y [%] =	0,985
ρ_z [%] =	1,520
α[°] =	90
a_1 [mm] =	69
s_r [mm] =	103
β =	1,150
Cas de charge : ST1	
f_{se} =	1,000
V_{Ed} [kN] =	-265,63
M_{Edy} [kNm] =	-6,18
M_{Edz} [kNm] =	17,01
u_0 [m] =	0,800
u_1 [m] =	2,533
v_{Ed0} [N/mm²] =	2,767
v_{Ed} [N/mm²] =	0,87392
$v_{Rd,max}$ [N/mm²] =	4,224
v_{Rdc} [N/mm²] =	0,79748
v_{Ed0} / $v_{Rd,max}$ = 0,655 ≤ 1	
v_{Ed} / $v_{Rd,c}$ = 1,096 > 1	
Armature de poinçonnement est nécéssaire.	
$f_{ywd,ef}$ [N/mm²] =	284,5
A_{sw} [mm²] =	169
$v_{Rd,cs}$ [N/mm²] =	0,87393
v_{Ed} / $v_{Rd,cs}$ = 1,000 ≤ 1	
N_{sr} =	3
$h_{min,1}$ [mm] =	200
$h_{min,2}$ [mm] =	200

h Épaisseur totale de la plaque

d Épaisseur effective (entre la peau inférieure et la génératrice supérieure du premier lit d'armature supérieure) de la plaque



ρ_x, ρ_y Ratios d'armature longitudinal dans les directions x et y

α Angle entre la plaque et le renfort de poinçonnement

a_1 Distance du premier périmètre de l'armature de cisaillement par rapport au bord convexe du poteau

s_r Distance entre les périmètres des armatures de cisaillement

f_{se} Facteur ne prenant en compte que les forces internes dues à la charges sismiques

V_{Ed} Valeur calculée de la force de poinçonnement

$V_{Ed,0}$ Valeur calculée de la force de poinçonnement intégrée à une distance de 0,5d du contour convexe du poteau (uniquement pour les plaques de base)

M_{Edy}, M_{Edz} Valeur calculée des moments de flexion

u_0 Contrôle du périmètre du poteau

u_1 Périmètre de contrôle critique à *2d*

β* Facteur d'excentricité calculé

v_{Ed0} Contrainte de cisaillement le long du périmètre u_0

v_{Ed} Contrainte de cisaillement le long du périmètre u_1

$v_{Rd,max}$ Valeur calculée de la résistance maximale au cisaillement par poinçonnement

$v_{Rd,c}$ Valeur calculée de la résistance au poinçonnement de la dalle sans armature de poinçonnement

$v_{Ed0}/v_{Rd,max}$ Exploitation sur le périmètre u_0

$v_{Ed}/v_{Rd,c}$ Exploitation (traction dans le béton)

$f_{ywd,ef}$ Traction dans l'armature du poinçonnement

A_{sw} Poinçonnement de la zone d'armature sur le périmètre de contrôle critique

$v_{Rd,cs}$ Valeur calculée de la résistance au poinçonnement de la dalle avec armature de poinçonnement

N_{sr} Nombre de cercles d'armature

$h_{min,1}$ Épaisseur minimale de la plaque requise avec armature de poinçonnement

$h_{min,2}$ Épaisseur minimale de la plaque requise sans armature de poinçonnement

6.5.13.1.2. Analyse de poinçonnement des extrémités de mur et des angles selon l'Eurocode

L'analyse du poinçonnement des extrémités et des angles de murs peut être effectuée à l'aide du module RC3, y compris le calcul des armatures requises si nécessaire. Le logiciel génère les périmètres de contrôle du poinçonnement en fonction de la position relative des murs. Les bords des plaques et les trous sont pris en compte s'ils sont plus proches de six fois l'épaisseur effective de la plaque.

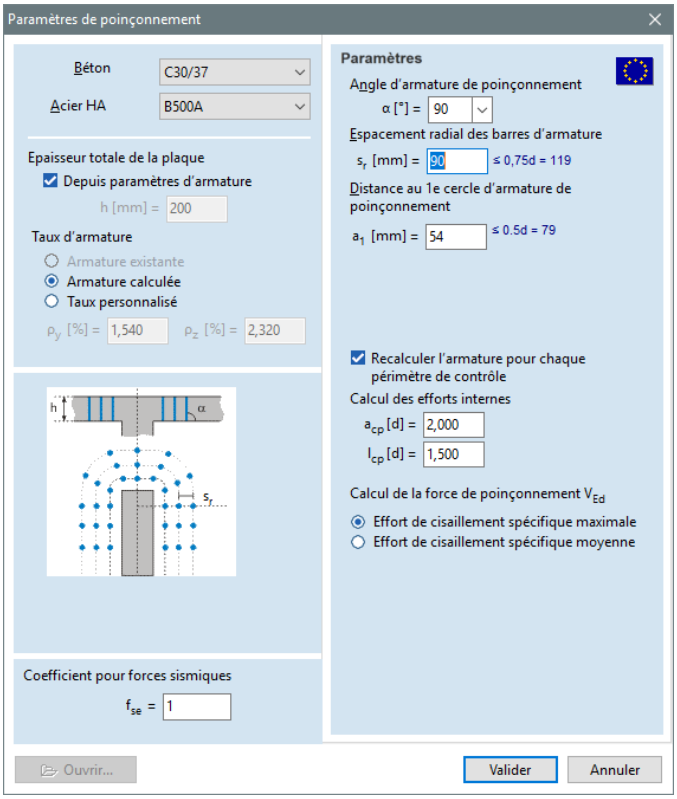
ITT TARTOK

Après avoir cliqué sur le bouton de l'outil ci-dessus, il faut sélectionner un nœud qui identifie l'extrémité du mur ou le coin du mur. Le programme identifie automatiquement les murs qui se connectent au nœud. Les murs peuvent être représentés par des domaines verticaux ou des appuis linéaires avec section transversale (avec des rigidités calculées à partir des paramètres du mur) (voir... *4.9.12 Appui linéaire*). Le logiciel est capable d'identifier les deux éléments.

☞ **Si un élément de nervure est connecté à l'extrémité/coin de la paroi dans le plan de la plaque, l'analyse ne peut pas être effectuée.**

Les paramètres de poinçonnement peuvent être définis dans la fenêtre suivante :

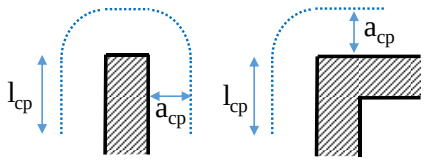
Paramètres de poinçonnement



La plupart des paramètres peuvent être réglés dans la boîte de dialogue et ont déjà été présentés dans les sections transversales précédentes (voir... *6.5.13.1.1. Analyse de poinçonnement des poteaux selon l'Eurocode*).

La force de poinçonnement est généralement calculée selon l'une des méthodes suivantes dans le cas des extrémités de mur et des coins :

- Par l'intégration de force de réaction le long du (des) mur(s) ;
- Par l'intégration des forces de cisaillement le long d'un segment autour de l'extrémité/angle du mur.



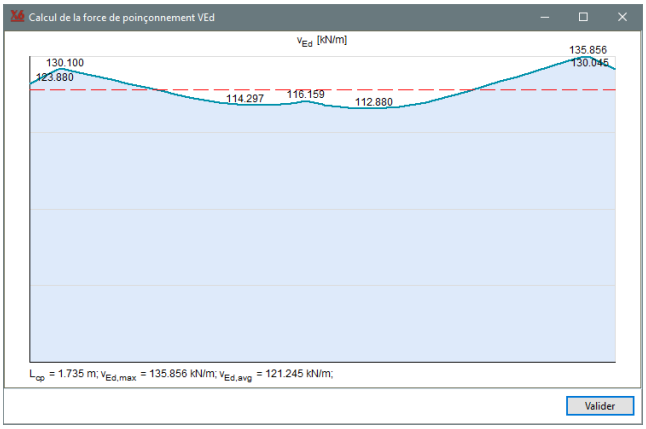
La seconde méthode est implémentée dans le logiciel. Les paramètres a_{cp} et l_{cp} (utilisés pour générer la ligne de coupe) peuvent être spécifiés par l'utilisateur. La force de poinçonnement est calculée à partir des forces de cisaillement le long de la ligne de la manière suivante présentée ci-dessous.

Les paramètres a_{cp} et l_{cp} peuvent être donnés en termes de *d* (profondeur effective) dans la *fenêtre des paramètres de poinçonnement*. Dans le cas de a_{cp}=2 et l_{cp}=2,, la position de la ligne d'intégration sera à *2d* distance du bord du mur et les extrémités de la ligne d'intégration seront également à *2d* distance de l'extrémité/coin du mur.

☞ **Dans le cas des plaques de base, la force de poinçonnement est intégrée à une distance de 0,5d du contour de l'extrémité/coin du mur ($V_{Ed,0}$). Cette valeur est utilisée pour vérifier la résistance de l'étai comprimé en béton (par rapport à la valeur de conception de la résistance maximale au cisaillement par poinçonnement).**



La répartition des forces de cisaillement le long de la ligne d'intégration est indiquée en cliquant sur ce bouton:



☞ **Il faut noter que la ligne donnée par les paramètres a_{cp} et l_{cp} est un outil utilisé pour calculer la force de poinçonnement et qu'elle n'est pas considérée comme un périmètre de poinçonnement. Le périmètre de poinçonnement est sélectionné en fonction de la norme (**voir... *6.5.13.1.1. Analyse de poinçonnement des poteaux selon l'Eurocode* et *6.5.13.2.1 Analyse de poinçonnement des poteaux selon la norme SIA 262***).**

Calcul de la force de poinçonnement VEd

Calculée à partir de la force de cisaillement maximale :

$$V_{Ed} = v_{Ed,max} \cdot L$$

où

- $v_{Ed,max}$ est la valeur maximale de la force de cisaillement le long de la ligne d'intégration ;
- L est la longueur de la ligne d'intégration.

Calculée à partir de la force de cisaillement moyenne :

$$V_{Ed} = \beta \cdot v_{Ed,avg} \cdot L$$

où

- β est un coefficient qui prend en compte l'effet du moment de flexion ;
- $v_{Ed,avg}$ est la valeur moyenne de la force de cisaillement le long de la ligne d'intégration ;

v_{Ed} est calculée de la manière suivante:

$$v_{Ed} = \sqrt{v_{xz}^2 + v_{yz}^2}$$

Réaction du sol

Dans le cas de l'analyse du poinçonnement d'une extrémité de mur ou d'un coin de mur, la force de réaction du sol est ignorée car les périmètres de poinçonnement ne sont pas des polygones fermés et la force de poinçonnement est typiquement intégrée à *2d* du contour du mur, donc la plupart de l'interaction du sol est déjà négligée.

Interface graphique et résultats

L'interface graphique et les boutons sont décrits et présentés en détail dans la section transversale précédente (voir... *6.5.13.1.1. Analyse de poinçonnement des poteaux selon l'Eurocode*). Les résultats d'étude sont répertoriés dans une fenêtre d'information et présentés graphiquement dans la fenêtre d'analyse du poinçonnement des plaques. Si une armature de poinçonnement est nécessaire, l'armature calculée est inscrite sur les périmètres de poinçonnement. Après avoir cliqué sur le bouton Calculs d'étude, un rapport détaillé du calcul est affiché. Les calculs d'étude et les dessins peuvent être enregistrés dans la documentation.

6.5.13.2. Analyse de poinçonnement selon la norme SIA 262

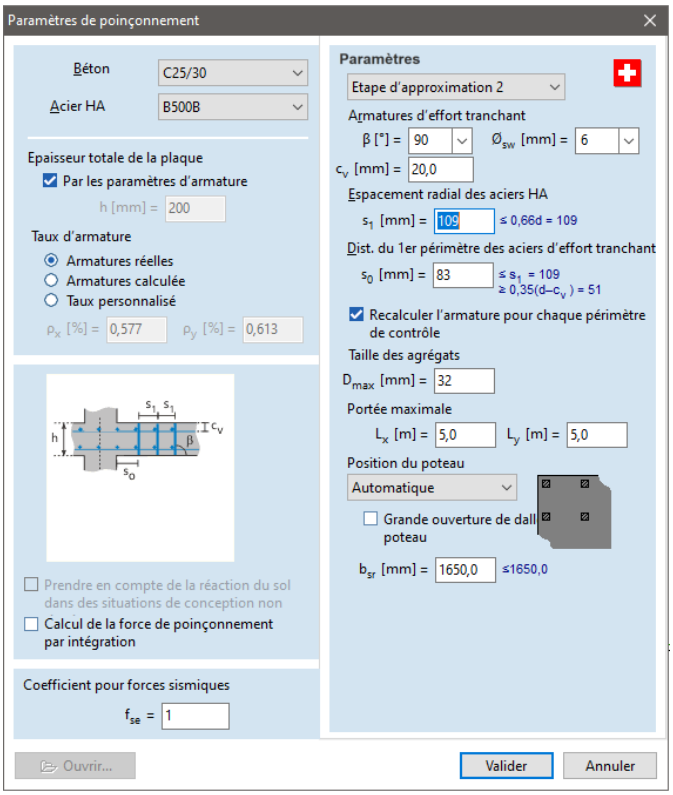
6.5.13.2.1. Analyse de poinçonnement des poteaux selon la norme SIA 262



L'analyse du poinçonnement est activée si les paramètres d'armatures et l'armature réelle sont définis et attribués à la dalle en béton armé.
Après avoir cliqué sur le bouton outil, veuillez sélectionner un poteau ou un appui dont les rigidités sont calculées à partir des paramètres du poteau pour l'analyse.
Certains détails du processus d'étude sont abordés dans la section transversale *6.5.13.1.1. Analyse de poinçonnement des poteaux selon l'Eurocode* et ne sont pas répétés ici.

☞ ***Si un élément de nervure est relié au poteau dans le plan de la plaque, l'analyse ne peut pas être effectuée !***

Les paramètres relatifs à la vérification d'étude du poinçonnement peuvent être spécifiés dans la fenêtre suivante de manière similaire à l'étude conforme à l'Eurocode.



Matériau

qualité Béton, qualité acier HA — Qualité Béton et acier HA utilisés dans le calcul. Tout d'abord, ces paramètres sont automatiquement sélectionnés en fonction des paramètres du projet, mais ils peuvent être modifiés dans la fenêtre.

Épaisseur de la plaque (h) — L'épaisseur de la plaque est automatiquement sélectionnée, mais elle peut être modifiée dans cette fenêtre si le *paramètre Par armature* est désactivé.

Ratio d'armature — Ratios d'armature (ρ_x, ρ_y) peut être pris à partir de l'armature réelle ou calculée ou du ratio personnalisé défini et spécifié manuellement.

Paramètres

Étape d'approximation — Le niveau d'approximation peut être sélectionné conformément à la norme SIA 262:2013 (section transversale 4.3.6.4.2). Les étapes d'approximation 1 et 2 peuvent être sélectionnées.

β — Angle entre la plaque et les aciers HA de cisaillement par poinçonnement (45°-90°).

Φ_{sw} — Diamètre des aciers HA de cisaillement par poinçonnement

c_v Enrobage béton des aciers HA de cisaillement par poinçonnement du côté de la compression.

espacement des aciers HA radiaux s_1 L'espacement radial des aciers HA est la différence entre les rayons de deux périmètres voisins d'armature de cisaillement.

Distance du premier périmètre d'armature de cisaillement s_0 Distance du premier périmètre de poinçonnement de l'armature de cisaillement par rapport au bord convexe du poteau.

D_{max} Granulométrie maximale du granulat

l_x, l_y Portées dans les directions x, y (sections transversales 4.3.6.4.2 et 4.3.6.4.4)

b_{sr} Valeur limite pour la largeur des bandes de poteaux pour la détermination des résistances à la flexion.

Calcul de la force de poinçonnement L'effort de poinçonnement peut être calculé à partir de la différence des forces axiales des colonnes connectées ou par l'intégration des forces de cisaillement de la dalle (voir... *6.5.13.1.1. Analyse de poinçonnement des poteaux selon l'Eurocode*).

Principes d'étude Le logiciel détermine le périmètre de poinçonnement à $0{,}5d_v$ la distance (section transversale 4.3.6.2.2) par rapport au bord convexe du poteau où la résistance au poinçonnement doit être vérifiée. La résistance des bielles de compression est calculée conformément au point 4.3.6.5.7:

$$V_{Rd,max} = 2 \cdot k_r \cdot \tau_{cd} \cdot d_v \cdot u$$

Si $V_d > V_{Rd,max}$ la résistance des bielles en compression n'est pas suffisante. Dans ce cas, l'épaisseur de la plaque ou la résistance du béton doivent être modifiées.
La résistance au cisaillement par poinçonnement sans armature de cisaillement est calculée de la manière suivante (section transversale 4.3.6.3.1):

$$V_{Rd,c} = k_r \cdot \tau_{cd} \cdot d_v \cdot u$$

Si $V_d \leq V_{Rd,c}$ l'armature de cisaillement par poinçonnement n'est pas nécessaire, sinon l'armature de cisaillement requise est calculée comme suit (sections transversales 4.3.6.5.2 (65) et 4.3.6.5.3 (66)):

$$\Sigma A_{sw} = \frac{V_d}{k_e \cdot \sigma_{sd} \cdot sin\beta},$$

où

$$\sigma_{sd} = \frac{E_s \cdot \psi}{6} \cdot \left(1 + \frac{f_{bd}}{f_{sd}} \cdot \frac{d}{\phi_{sw}}\right)$$

$$\psi = 1{,}5 \cdot \frac{r_s}{d} \cdot \frac{f_{sd}}{E_s} \cdot \left(\frac{m_{sd}}{m_{Rd}}\right)^{3/2} \text{ et } f_{bd} = \frac{1{,}4 \cdot f_{ctm}}{\gamma_c}$$

Cette armature nécessaire doit être appliquée entre $0{,}35 \cdot d_v$ et d_v selon le code. Sur la base des paramètres d'étude donnés, le nombre de périmètres d'armature de cisaillement calculé peut être placé entre $0{,}35 \cdot d_v$ et $1\ d_v$. L'armature nécessaire pour un périmètre est calculée en divisant ΣA_{sw} avec le nombre de périmètres. Ce A_{sw} armature nécessaire est placé (à l'extérieur d_v distance) sur chaque périmètre jusqu'à ce qu'il soit nécessaire.

Fenêtre d'information	Sous le code d'étude, l'identificateur d'élément et de matériaux, les paramètres suivants sont affichés.
h	Épaisseur totale de la plaque
d	Épaisseur effective de la plaque
ρ_x, ρ_y	Ratios d'armature longitudinal dans les directions x et y
β	Angle entre la plaque et l'armature de poinçonnement
s_0	Distance du premier périmètre de l'armature de cisaillement par rapport au bord convexe du poteau
s_1	Distance entre les périmètres des armatures de cisaillement
$\varnothing_{sw}$	Diamètre des armatures de cisaillement
d_v	Épaisseur réelle des plaques
l_x, l_y	Portée dans les directions x, y
f_{se}	Le facteur ne prend en compte que les forces internes dues à la charges sismiques
V_d	Valeur calculée de la force de poinçonnement
$V_{d,0}$	Valeur calculée de la force de poinçonnement intégrée à une distance de 0,5d du contour convexe du poteau (uniquement pour les plaques de base)
M_{dy}, M_{dz}	Valeur calculée des moments de flexion
k_e	Facteur de réduction pour le périmètre de cisaillement par poinçonnement
u	Longueur du périmètre de cisaillement par poinçonnement
u'	$u' = k_{e\,u} \cdot u$
$V_{Rd,max}$	Valeur calculée de la résistance maximale au cisaillement par poinçonnement
$V_{Rd,c}$	Valeur de calcul de la résistance au poinçonnement de la dalle sans armature de poinçonnement
$V_{Ed}/V_{Rd,max}$	Exploitation pour $V_{Rd,max}$
$V_{Ed}/V_{Rd,c}$	Exploitation pour $V_{Rd,c}$
$V_{d,s}$	Force de poinçonnement pour le calcul des armatures de cisaillement
σ_{sd}	Valeur calculée de la contrainte de traction dans l'armature de cisaillement
ΣA_{sw}	Armatures de cisaillement nécessaires
A_{sw}	Armatures de cisaillement nécessaires pour un périmètre
$V_{Rd,s}$	Valeur calculée de l'effort tranchant de poinçonnement pour le calcul de l'armature
N_{sr}	Nombre de périmètres d'armature de cisaillement

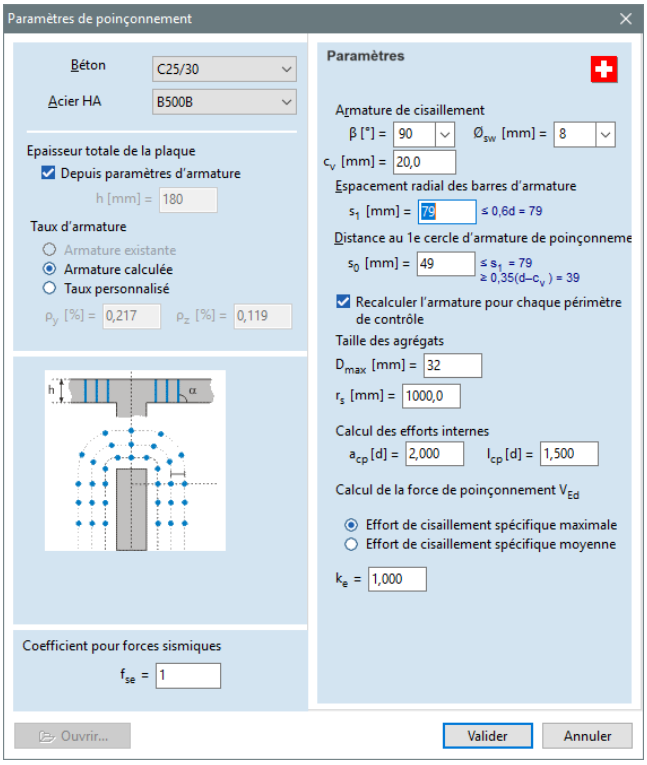
SIA 26x (Suisse)	
Appui nodal 3, Nœud 16	
C30/37	
B500A	
400x600	
h[mm] =	280
d[mm] =	236
ρ_x[%] =	0.483
ρ_y[%] =	0.511
β[°] =	90.00
s_0[mm] =	118
s_1[mm] =	177
Ø[mm] =	6
d_v[mm] =	216.0
l_x[m] =	5.0
l_y[m] =	5.0
Critique Min,Max.	
f_{se} =	1.000
V_d[kN] =	998.91
M_y[kNm] =	-5.42
M_z[kNm] =	6.77
u[m] =	2.678
k_e =	0.989
u'=k_e·u[m] =	2.649
$V_{Rd,max}$[kN] =	1011.43
$V_{Rd,c}$[kN] =	505.72
V_d / $V_{Rd,max}$ = 0.988 ≤ 1	
V_d / $V_{Rd,c}$ = 1.975 > 1	
Armatures de poinçonnement	
est nécéssaire.	
$V_{d,s}$[kN] =	499.45
σ_{sd}[MPa] =	434.78
Σ A_{sw}[mm^2] =	1161
A_{sw}[mm^2] =	1161
$V_{Rd,s}$[kN] =	499.45
N_{sr} =	2

6.5.13.2.2. Analyse de poinçonnement des extrémités de mur et des angles selon la norme SIA 262

Le logiciel détermine la force de cisaillement par poinçonnement telle qu'elle est décrite au point *6.5.13.1.2. Analyse de poinçonnement des extrémités de mur et des angles selon l'Eurocode*. En cas d'étude conforme à la norme SIA, le facteur β n'est pas utilisé. Le facteur de réduction pour la longueur du périmètre (k_e) peut être spécifié par l'utilisateur.

Après avoir cliqué sur le bouton de l'outil ci-dessus, il faut sélectionner un nœud qui identifie l'extrémité du mur ou le coin du mur. Le programme identifie automatiquement les murs qui se connectent au nœud. Les murs peuvent être représentés par des domaines verticaux ou des appuis linéaires avec section transversale (avec des rigidités calculées à partir des paramètres du mur) (voir... *4.9.12 Appui linéaire).* Le logiciel est capable d'identifier les deux éléments.
Certains détails du processus d'étude sont abordés dans la section transversale *6.5.13.1.2. Analyse de poinçonnement des extrémités de mur et des angles selon l'Eurocode* ne sont pas répétés ici.

☞ **Si un élément de nervure est connecté à l'extrémité/coin du mur dans le plan de la plaque, l'analyse ne peut pas être effectuée !**



Les détails des principes d'étude et des équations sont abordés dans la section transversale précédente. voir... *6.5.13.2.1 Analyse de poinçonnement des extrémités de mur et des angles selon l'Eurocode*. Dans le cas des extrémités de mur et des angles, le niveau d'approximation ne peut pas être sélectionné (section transversale 4.3.6.4.2. du chapitre SIA 262:2013), le logiciel utilise le niveau d'approximation 1, il est donc supposé que m_{sd}/m_{Rd} 1≅.0 et la distance r_s peuvent être spécifiés par l'utilisateur.

6.5.14. Étude de la semelle de fondation - module RC4

6.5.14.1. Étude de la semelle isolée



AxisVM peut déterminer la taille et l'armature nécessaires des fondations rectangulaire ou circulaire (avec ou sans socle), et peut vérifier la semelle contre le glissement et le poinçonnement selon l'Eurocode7 et MSz. Il détermine également le tassement de la fondation.

Taille des fondations

La taille de la fondation peut être saisie ou laisser à AxisVM la calculer. Si AxisVM calcule la taille, une valeur maximale doit être spécifiée.
En utilisant le profil du sol et les forces internes, ce module détermine la taille nécessaire de la fondation dans un processus itératif. Il calcule ensuite la surface effective de la fondation pour les cas de charge et les combinaisons de charges, les forces, les moments et les résistances calculées, détermine le tassement (pour les cas de charge et les combinaisons d'états limites de service [ELS]), les rendements et les armatures de cisaillement si nécessaire. Le module vérifie également la stabilité de la semelle.
Les marches ne doivent pas être plus grandes que les côtés respectifs de la fondation.

☞ **Le système de coordonnées utilisé dans les calculs de la semelle est le système de coordonnées de l'appui. Cependant, les excentricités sont calculées par rapport au centre de la semelle.**

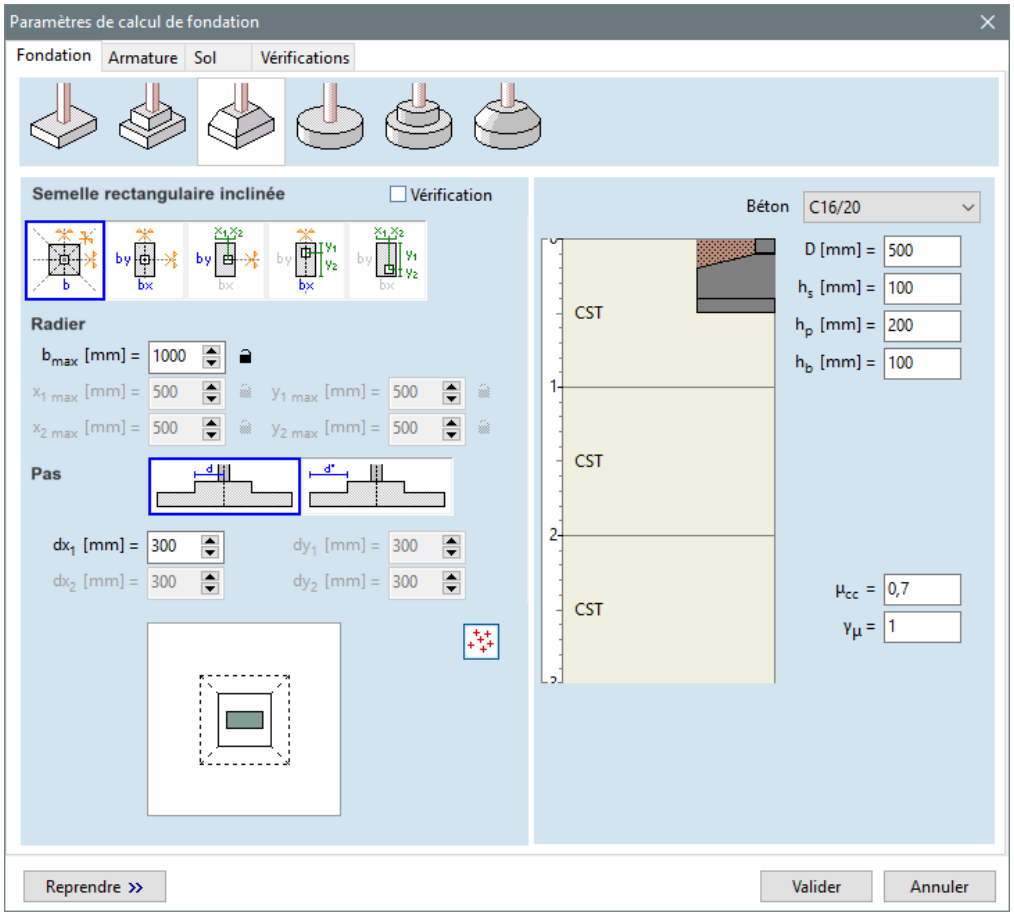
Paramètres d'étude de la base



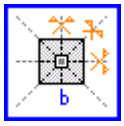
Cliquez sur l'icône *Étude de la semelle* et sélectionnez un ou plusieurs appuis nodaux avec un poteau vertical ou incliné. (Si des appuis ont déjà été sélectionnés, la boîte de dialogue s'affiche au premier clic). Les paramètres d'étude de la semelle doivent être spécifiés dans un dialogue.

Semelle

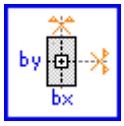
Dans l'onglet semelle, sélectionnez le type de semelle (simple plaque / étagé / incliné, rectangulaire ou circulaire) et définissez les paramètres de géométrie et le coefficient de frottement entre la semelle et le béton de propreté ainsi que le coefficient de sécurité pour le coefficient de frottement.



Contraintes de symétrie et paramètres géométriques pour une base rectangulaire :



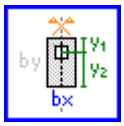
Semelle carrée
b est la longueur du côté,
le poteau est concentrique,
la valeur ou la limite supérieure de *b* doit être saisie



Semelle rectangulaire
bx et *by* sont les longueurs des côtés,
le poteau est concentrique,
La valeur ou la limite supérieure de *bx* et *by* doit être saisie



Semelle rectangulaire excentré coté X
le poteau est excentrique dans la direction *x,* concentrique dans la direction *y*
x1 et *x2* sont la distance de l'axe du poteau par rapport aux bords de la semelle
valeur ou limite supérieure de *x1, x2* et *by* doivent être saisis

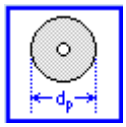


Semelle rectangulaire excentré coté Y
le poteau est excentrique dans la direction *y,* concentrique dans la direction *x*
y1 et *y2* sont la distance de l'axe du poteau par rapport aux bords de la semelle
la valeur ou la limite supérieure de *y1, y2* et *bx* doit être saisie

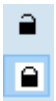


Semelle rectangulaire doublement excentré
le poteau est excentrique dans les deux sens
x1 et *x2* sont la distance de l'axe du poteau par rapport aux bords de la semelle dans la direction *x*
y1 et *y2* sont la distance de l'axe du poteau par rapport aux bords de la semelle dans la direction *y*
ou la limite supérieure de *x1, x2, y1, y2* doit être saisie

Paramètres pour une base circulaire :



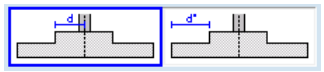
Semelle circulaire
le poteau est concentrique
dp est le diamètre de la semelle
dp ou sa limite supérieure ($d_{p,max}$) doit être saisie



Si le bouton de verrouillage à côté du champ d'édition est enfoncé (fermé), la valeur saisie est fixe (la valeur est vérifiée). Si l'icône du cadenas est en haut (ouvert), la valeur saisie est la limite supérieure (la valeur sera calculée par le programme). Si le bouton "*Check*" *est* activé, toutes les valeurs seront fermées et ne pourront être ouvertes tant que le bouton "*Check*" *n'est pas* désactivé.

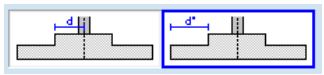
Semelles étagés ou inclinées

Il existe deux options pour définir la taille des étages.



dx1 et *dx2* sont la distance des bords de la marche ou de la base supérieure du fût par **rapport à l'axe du poteau** dans la direction *x*. *dy1* et *dy2* sont identiques dans la direction *y*. Ce sont toujours des valeurs données.

Pour les semelles circulaires: ds est le diamètre de la marche cylindrique concentrique ou de la base supérieure du cône tronqué. La valeur de *ds / 2* rayon doit être saisie.



*dx*1* et *dx*2* sont la distance des bords de la marche ou de la base supérieure du fût par **rapport au périmètre de la semelle** dans la direction *x*. *dy1* et *dy2* sont les mêmes dans la direction *y*.

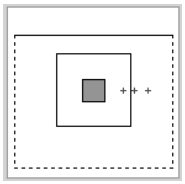
Pour les semelles circulaires : ds est le diamètre de la marche cylindrique concentrique ou de la base supérieure du cône tronqué. La valeur de *ds / 2*' = *(dp - ds) / 2* doit être saisie.

Dans le premier cas, la taille des pas est toujours fixe. Dans le second cas, la taille des marches augmente ou diminue avec la taille de la fondation si la taille n'est pas verrouillée.

Autres paramètres :

Béton	Matériau de la semelle
t	Profondeur de la fondation (distance entre le bas de la semelle et le niveau 0)
h_s	Hauteur de la marche (hauteur de la marche ou du tronc)
h_p	Épaisseur de la plaque de base
h_b	Épaisseur de béton de propreté
μ_{cc}	Coefficient de frottement entre la semelle et le béton de propreté
γ_μ	Coefficient de sécurité du coefficient de frottement

Vous pouvez voir le coefficient des forces sismiques à *4.10.24 Charges sismiques - module SE1.*



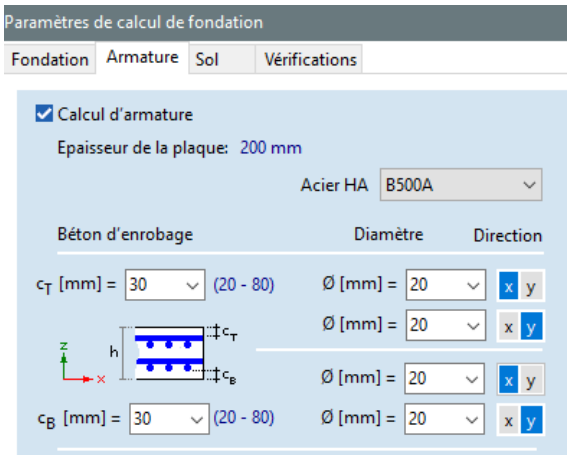
Sous les champs d'édition, la semelle et le poteau sont affichés en vue de dessus. Les tailles données sont tracées en lignes continues, les limites supérieures en lignes pointillées. Les forces apparaissent sous forme de croix rouges placées en fonction de leurs excentricités. Ce diagramme n'a qu'un but d'orientation car les excentricités réelles sont calculées en tenant compte du poids propre de la semelle et du remblai réduisant l'excentricité.



Si le bouton *Afficher toutes les forces d'appui est enfoncé*, la vue est mise à l'échelle pour afficher toutes les croix des forces. Si le bouton est désactivé, seules les croix situées dans le rectangle de délimitation de la semelle sont affichées. Ces forces agissent au sommet de la semelle et n'incluent pas le poids du remblai, de la semelle et du béton de propreté.

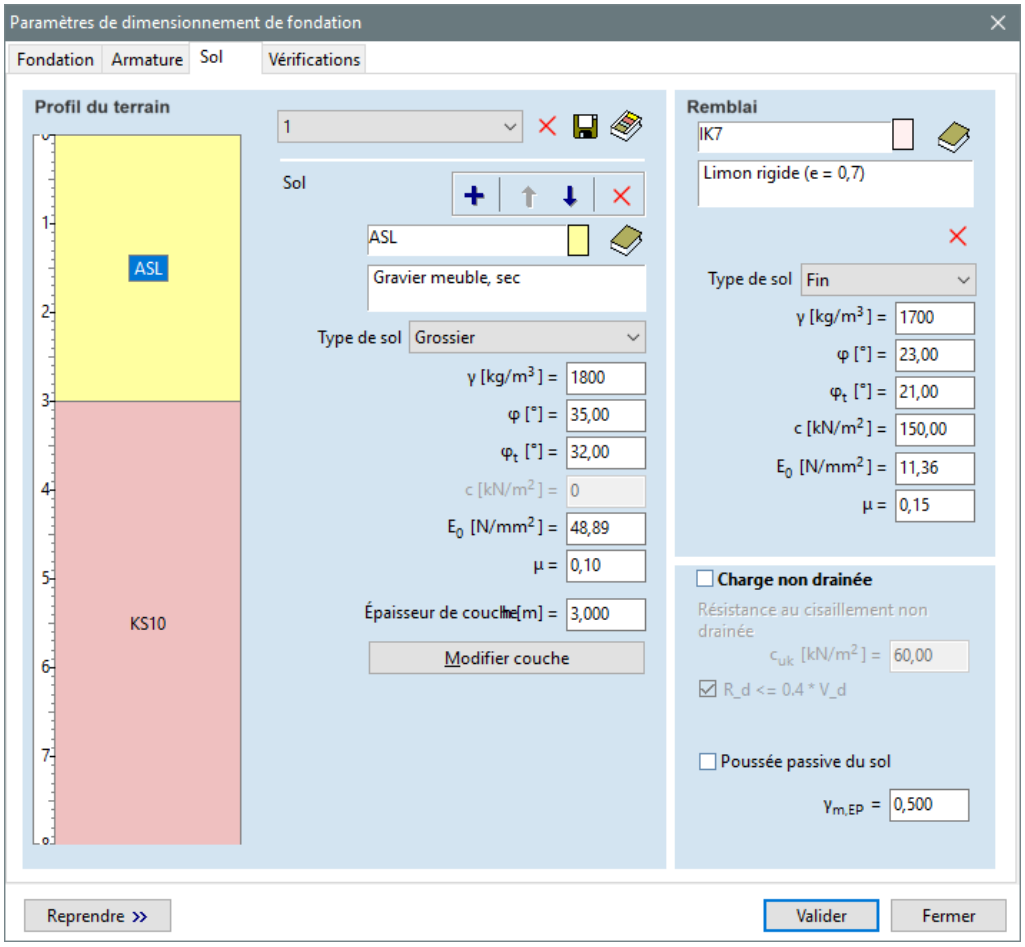
Armatures

Dans l'onglet *Armatures, les* calculs d'armature peuvent être activés.
Il est possible de saisir la qualité de l'*acier d*'armature, les enrobages supérieures et inférieures du béton *cT et cB* (c'*est-à-dire la* distance la plus faible entre la surface de l'armature encastrée et la surface extérieure du béton). Les deux rangées supérieures sous *Diamètre* et *Direction* représentent les aciers HA supérieures (la 1ère rangée est la plus extérieure, la 2ème rangée est la plus intérieure), les deux rangées inférieures représentent les aciers HA inférieures (la 3ème rangée est la plus intérieure, la 4ème rangée est la plus extérieure). Le schéma réel en vue *x-z* locale est affiché en conséquence.
Les calculs d'armature *par poinçonnement* ne peuvent être activés que pour les semelles de plaques simples. Pour les paramètres, voir... *6.5.13 Analyse de poinçonnement - module RC3*



Sol

Dans l'onglet *Sol,* vous pouvez spécifier le profil du sol et les propriétés du remblai. Le profil de sol peut être sélectionné dans la liste des profils définis dans le modèle, importé d'une bibliothèque de profils de sol indépendante du modèle (*6.5.14.4 Bibliothèque des profils de sol)* ou créé de toutes pièces *(6.5.14.3 Editeur de profil de sol).*
Les propriétés de la couche sélectionnée sont affichées dans le cadre du groupe "*Sol*".
Les propriétés du remblai sont affichées dans le cadre *Remblai*



Créer un nouveau profil de sol
Affiche l'éditeur de profil de sol où le profil de sol peut être saisi et ajouté aux profils disponibles dans le projet

Editer le profil du sol
Affiche l'éditeur de profil de sol avec le profil de sol actuel à modifier. Le profil de sol existant peut être écrasé ou alors le profil de sol modifié peut être ajouté à la liste.

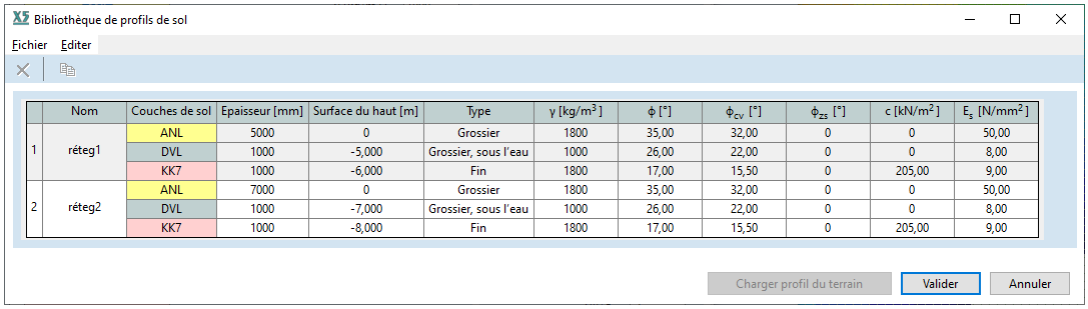
Sauvegarder le profil de sol dans la bibliothèque
Le profil de sol sélectionné est enregistré dans la bibliothèque de profils de sol indépendante du projet. S'il existe déjà un profil de sol dans la bibliothèque avec ce nom, (1), (2), ... est ajouté.

Bibliothèque de profils de sol
Cette bibliothèque est disponible à partir de n'importe quel projet. Plusieurs profils de sol peuvent être sélectionnés et importés.
S'il existe déjà un profil de sol avec le même nom (1), (2), ... est ajouté.

Les profils de sol peuvent être supprimés dans le *navigateur de tableaux*. Sélectionnez *Profils de sol* pour voir les profils de sol définis dans le modèle. Comme la suppression de profils de sol peut entraîner la suppression de ressorts de Winkler et/ou de semelles, le nom des profils de sol utilisés est affiché en gras. La suppression d'un profil de sol utilisé déclenche un message d'avertissement.

Remblai Entrez les paramètres du sol utilisé comme remblai.

Ouvre la bibliothèque des sols pour sélectionner un matériau prédéfini.



	Nom	Couches de sol	Epaisseur [mm]	Surface du haut [m]	Type	γ [kg/m³]	ϕ [°]	ϕ_{cv} [°]	ϕ_{zs} [°]	c [kN/m²]	E_s [N/mm²]
1	réteg1	ANL	5000	0	Grossier	1800	35,00	32,00	0	0	50,00
		DVL	1000	-5,000	Grossier, sous l'eau	1000	26,00	22,00	0	0	8,00
		KK7	1000	-6,000	Fin	1800	17,00	15,50	0	205,00	9,00
2	réteg2	ANL	7000	0	Grossier	1800	35,00	32,00	0	0	50,00
		DVL	1000	-7,000	Grossier, sous l'eau	1000	26,00	22,00	0	0	8,00
		KK7	1000	-8,000	Fin	1800	17,00	15,50	0	205,00	9,00

Chargement non drainé

Sous une charge non drainée, il n'y a pas de changement de volume, puisque l'eau ne peut pas s'échapper. Le sol est entièrement saturé, la résistance au cisaillement est une valeur constante qui peut être déterminée par des expériences. Dans ce cas, l'utilisateur doit entrer la résistance au cisaillement c_{uk}

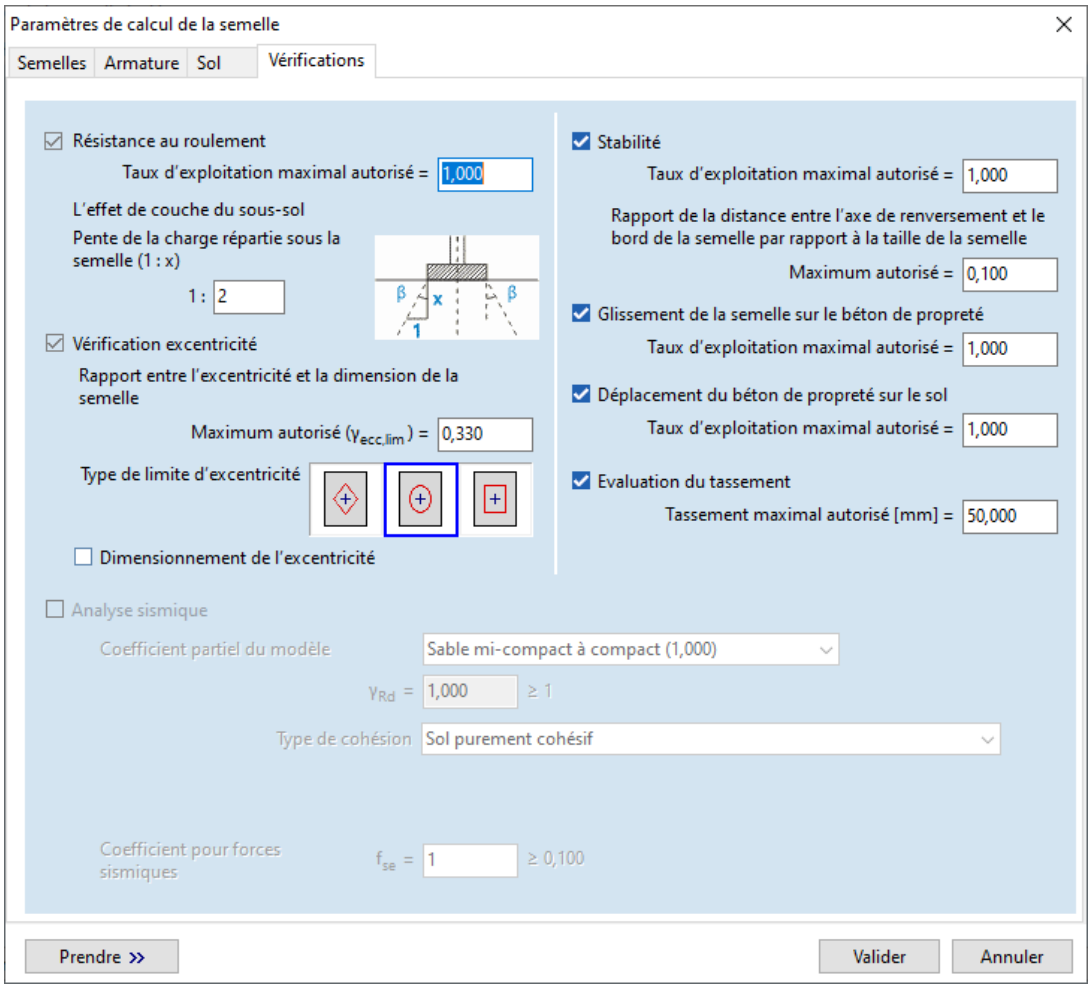
Pression passive de la terre

Si cette option est activée, la résistance au glissement est augmentée en tenant compte de la pression passive du sol. La pression active du sol augmente les forces horizontales. Ces effets sont généralement négligés pour des raisons de sécurité. L'activation de cette option exige une vigilance accrue.
$\gamma_{m,EP}$ est le facteur de mobilisation de la pression passive de la terre.

Vérifications

Les contrôles requis et les rendements maximums autorisés peuvent être sélectionnés dans l'onglet *Contrôles*.
Si l'*évaluation des règlements* est activée, le programme vérifie si le règlement est supérieur à la limite spécifiée ici mais **n'**augmente **pas la** taille de la semelle.
Le contrôle de la *stabilité* permet de fixer le rapport d'excentricité maximum autorisé afin de garantir que le sol sera comprimé sous la semelle pour éviter le renversement.

La résistance au roulement et le *contrôle de l'excentricité* ne peuvent pas être désactivés.



Résistance au roulements

La résistance au roulement est calculée selon la norme EN 1997-1 annexe D.
État drainé :

$$R_{V,d} = \left(c' \cdot N_c \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot b_q \cdot s_q \cdot i_q + 0{,}5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot b_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma\right) \cdot A'$$

État non drainé :

$$R_{V,d} = \left((\pi + 2)c_u \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c + q\right) \cdot A'$$

L'effet du sous-sol stratifié : S'il y a plusieurs couches de sol différentes sous la semelle, la couche critique peut être une couche plus profonde avec moins de résistance. Une exploitation est calculée à partir de la contrainte et de la résistance au sommet de la couche en utilisant la pente de la charge répartie sous la semelle et les formules suivantes :

$$q_{E,d,i} = \frac{V_d}{A_i'} + (q_i' - q')$$

où

$A_i' = B_i' \cdot L_i'$

Où $\mathrm{B_i' = B' + 2 - Cot\beta - (|z_i| - D)}$ et $\mathrm{L_i' = L' + 2 - Cot\beta - (|z_i| - D)}$

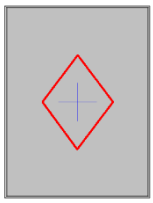
$\mathrm{|z_i| - D}$ Est la distance entre le bas de la semelle et le haut de la couche

Contrôle de l'excentricité

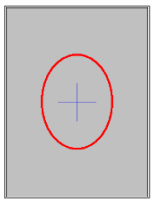
Procédure d'étude : la taille de la semelle est augmentée jusqu'à ce que le facteur d'excentricité (γ_{ecc}) calculée à partir des excentricités de la combinaison de charge est inférieure à la limite autorisée: $\gamma_{ecc} \leq \gamma_{ecc,lim}$.

Pour les semelles rectangulaires $\boldsymbol{\gamma_{ecc} = 0.5}$ signifie que le rectangle de délimitation de la courbe limite d'excentricité a les dimensions $\boldsymbol{b_x/2}$ et $\boldsymbol{b_y/2}$où $\boldsymbol{b_x}$ et $\boldsymbol{b_y}$ sont les dimensions de la semelle. Le facteur d'excentricité est calculé en fonction du *type de limite d'excentricité :*

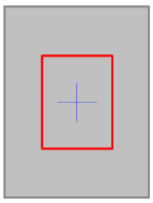
Linéaire (diamant), *Quadratique* (ellipse) *Axe de rotation* (rectangle)



$$\gamma_{ecc} = \left|\frac{e_x}{b_x}\right| + \left|\frac{e_y}{b_y}\right|$$



$$\gamma_{ecc} = \sqrt{\left(\frac{e_x}{b_x}\right)^2 + \left(\frac{e_y}{b_y}\right)^2}$$



$$\gamma_{ecc} = \max\left(\frac{|e_x|}{b_x}; \frac{|e_y|}{b_y}\right)$$

Pour les semelles circulaires, la courbe limite d'excentricité est un cercle, $\boldsymbol{\gamma_{ecc} = e/r}$ où $\boldsymbol{r = d_p/2}$

Stabilité

AxisVM calcule le moment des actions autour des axes de renversement, additionne les moments stabilisants et déstabilisants puis vérifie les éléments suivants :

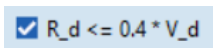
$$\Delta_{EQU} = \left|\frac{M_{dst}}{M_{stb}}\right| \leq \Delta_{EQU,lim}$$

Le glissement de la semelle (ou du béton de propreté) sur le sol

On vérifie si la force horizontale appliquée à la semelle provoque une rupture par glissement entre la semelle et le sol à l'aide de la formule suivante :

$$H_d \leq R_{d,Hs} + R_{p,d}$$

Où se trouve la résistance au glissement
État drainé : $\mathrm{R_{d,Hs} = V_d tan\delta_d}$
Pour le béton coulé sur place, la valeur d'étude de l'angle de frottement de l'interface structure-sol peut être considérée comme égale à l'angle d'état critique de la résistance au cisaillement : $\mathrm{\delta_d = \varphi_{cv,d}}$
État non drainé : $\mathrm{R_{d,Hs} = A' c_{u,d}}$ et $\mathrm{R_{d,Hs} \leq 0{,}4 V_d}$*
* Si l'eau ou l'air peut s'infiltrer entre la semelle et le sol EN 19971- 6.5.3. (12)P exige un contrôle supplémentaire. Elle peut être activée dans l'onglet "Sol" en cochant l'option suivante



Le glissement de la semelle sur le béton de propreté

On vérifie si la semelle glisse sur le béton de propreté à l'aide de la formule suivante :

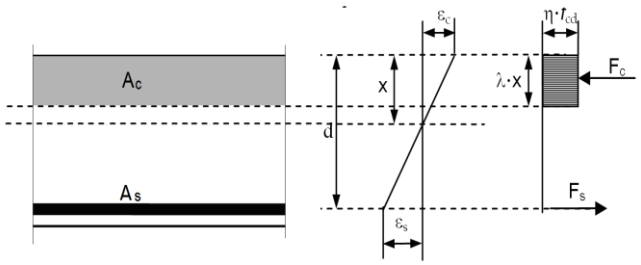
$$\mathrm{H_d \leq R_{d,Hb} R_{p,d}}$$

La résistance au glissement étant$\mathrm{R_{d,Hb} = V_d \frac{\mu_{cc}}{\gamma_\mu}}$

où μ_{cc} est le coefficient de frottement entre la semelle et le béton de propreté, γ_μ est le coefficient de sécurité du coefficient de frottement.

Armatures du radier

Si les positions et le diamètre des aciers HA sont spécifiés, le module détermine la quantité nécessaire d'armature supérieur et inférieur dans les directions *x* et *y selon le* schéma suivant.
L'exigence minimale est toujours prise en compte.



L'espacement nécessaire entre les aciers HA est calculé à partir du diamètre des aciers HA.
Avertissements et erreurs :
Le programme envoie un avertissement si une armature de compression est nécessaire ou si la quantité calculée est supérieur au maximum autorisé ($A_s > 0.04A_c$).

Calcul selon l' Eurocode 7

L'Eurocode 7 permet différentes approches d'étude (DA). Il s'agit de certaines combinaisons de coefficient de sécurité pour les actions, les propriétés des matériaux et les résistances. Les ensembles de coefficients de sécurité appliqués aux actions sont appelés A1, A2, les ensembles appliqués aux propriétés des matériaux sont M1, M2, les ensembles appliqués aux résistances sont R1, R2, R3. (Voir *EN 1997-1:2004, annexe A*) Chaque approche d'étude combine ces ensembles de facteurs partiels.

Approche d'étude		*Combinaison*	*Actions*	*Propriétés des matériaux*	*Résistances*
DA1	Combinaison 1	ELU	A1	M1	R1
	Combinaison 2	ELS	A2	M2	R1
DA2		ELU	A1	M1	R2
DA3		ELS	A2	M2	R3

Le programme vérifie A1+M1+R1 (DA1 / 1) et A1+M1+R2 (DA 2) pour les combinaisons ELU critiques, A2+M2+R1 (DA1 / 2) et A2+M2+R3 (DA3) pour les combinaisons ELS critiques.
Ainsi, pour chaque combinaison critique, deux résultats sont calculés.
Si l'étude a été effectuée pour une combinaison de charge définie par l'utilisateur, réglez cette combinaison sur ELU ou ELS, sinon la semelle peut être surdimensionnée.
La résistance des roulements est $q_{Rd} = s_\gamma \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma \cdot 0.5 + s_q \cdot q \cdot N_q \cdot i_q \cdot b_q s_c \cdot c \cdot N_c \cdot i_c \cdot b_c$

Le contrôle coulissant permet de calculer si la semelle répond au critère suivant entre la semelle et le béton de propreté et entre le béton de propreté et le sol : $H_d \leq R_d R_{p,d}$
Où H_d est la valeur calculée de la force horizontale, R_d est la résistance calculée au cisaillement, $R_{p,d}$ est la résistance passive du sol sur le côté de la semelle.

La résistance calculée au cisaillement est obtenue à partir de la formule $R_d = V_d \tan \delta_d$où V_d est l'action verticale calculée, δ_d est l'angle de frottement calculé : $\delta_d = \arctan\left(\frac{\tan \varphi}{\gamma_\varphi}\right)$où φ est l'angle de frottement de l'interface, γ_φ est le coefficient de sécurité de la résistance au cisaillement, prescrit par l'approche d'étude.

Contrôle de poinçonnement

Le module vérifie la résistance au cisaillement de la fondation $(v_{Rd,max})$ Le système d'évaluation de la résistance au cisaillement du poteau, au périmètre du poteau, détermine la quantité nécessaire d'armature de cisaillement.
Le calcul réduit la force de poinçonnement par la réaction du sol sur la surface efficace
(et à l'intérieur de la ligne de poinçonnement critique).
Le contrôle de poinçonnement est réussi si $v_{Ed} \leq v_{Rd}$
Sans armature de cisaillement $v_{Rd} = \min\left\{\begin{matrix} v_{Rd,c} \\ v_{Rd,max} \end{matrix}\right\}$avec armature de cisaillement $v_{Rd} = \min\left\{\begin{matrix} v_{Rd,cs} \\ v_{Rd,max} \end{matrix}\right\}$.
Avertissement et erreurs :
Si $v_{Ed} \leq v_{Rd,c}$, aucune armature de cisaillement n'est nécessaire.
Si $v_{Rd,max} > v_{Ed} > v_{Rd,c}$, une armature de cisaillement est nécessaire.
Si $v_{Ed} > v_{Rd,max}$La plaque de base se brise à cause du poinçonnement. L'épaisseur de la plaque de la section transversale du poteau doit être augmentée.

Si une semelle à gradins ou inclinée est conçue, la taille du socle est déterminée en vérifiant les exigences de poinçonnement, de sorte que l'exploitation pour le poinçonnement n'est pas calculée.

Prévoir le tassement de la semelle

AxisVM calcule le tassement élastique causé par une contrainte supplémentaire dans les couches du sol. Les charges provoquent les contraintes suivantes à une profondeur de *z* sous le centre du rectangle central de la semelle (d'après *BOUSSINESQ-STEINBRENNER*):

$$\sigma_z = \frac{4\sigma_0}{2\pi}\left\{\arctan\left[\frac{b}{z}\cdot\frac{a(a^2+b^2)-2az(R-z)}{(a^2+b^2)(R-z)-z(R-z)^2}\right]+\frac{bz}{b^2+z^2}\cdot\frac{a(R^2+z^2)}{(a^2+z^2)R}\right\}$$

où la distance entre le point caractéristique et les axes centraux est de *0,37B'* et *0,37L'*.
a et *b sont* les dimensions des quatre parties du rectangle chargé selon le tableau suivant:

	a	b
I.	$(0.5-0.37)\cdot L'$	$(0.5-0.37)\cdot B'$
II.	$(0.5+0.37)\cdot L'$	$(0.5-0.37)\cdot B'$
III.	$(0.5+0.37)\cdot L'$	$(0.5+0.37)\cdot B'$
IV.	$(0.5-0.37)\cdot L'$	$(0.5+0.37)\cdot B'$

Si *a* < *b,* les deux valeurs sont échangées.
σ_0 Est la contrainte du sol au niveau du plan de base de la semelle causée par les charges (y compris le poids propre de la semelle et du remblai moins le poids du sol enlevé au-dessus du plan de base), et $R = \sqrt{a^2 + b^2 z^2}$.
Ce calcul de contrainte est valable pour un demi-espace homogène. Dans le cas des couches de sol, il faut calculer l'épaisseur effective des couches :

$$h_{i,eq} = h_i \cdot \left(\frac{E_{s,i}}{E_{s,ref}}\cdot\frac{\rho_{s,ref}}{\rho_{s,i}}\right)^{2/5}$$

Où

$h_{i,eq}$ Est l'épaisseur effective de la couche de sol *i*
h_i Est l'épaisseur de la couche de sol *i*
$E_{s,ref}$ Est le module d'Young de la couche de sol de référence
E_{Si} Est le module d'Young de la couche de sol *i*
$\rho_{s,ref}$ Est la densité de la couche de sol de référence
$\rho_{s,i}$ Est la densité de la couche de sol *i*

AxisVM décompose les couches de sol définies par l'utilisateur en sous-couches de 10 cm et calcul la contrainte due au poids du sol et la contrainte causée par la charge au bas de la sous-couche. La modification de l'épaisseur de la sous-couche est calculée selon les formules suivantes :

$$\Delta h_i = h_i\frac{\sigma_{ai}}{E_{si}};\ \ \sigma_{ai} = \frac{\sigma_{i-1}+\sigma_i}{2}$$

σ_{ai} Est le contrainte moyen causé par la charge dans la sous-couche i

σ_{i-1} Est le contrainte moyen causé par la charge au sommet de la sous-couche i
σ_i Est la contrainte moyenne causée par la charge au bas de la sous-couche i
E_{si}: le module de Young de la sous-couche i

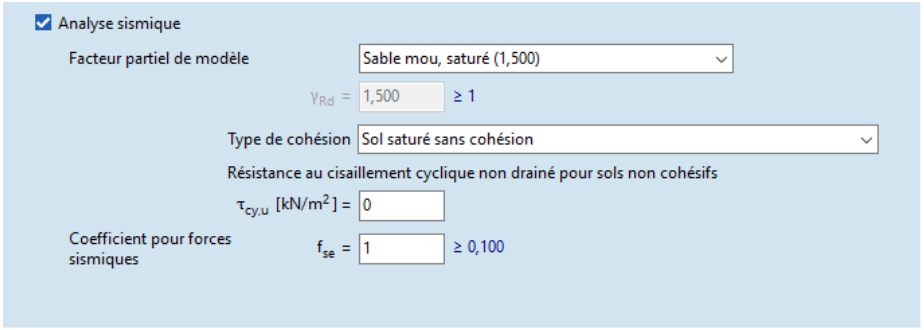
Le tassement prévu à une profondeur donnée est calculé comme la somme des changements d'épaisseur des sous-couches au-dessus du niveau :

$$s_m = \sum_{i=0}^{m}\Delta h_i$$

AxisVM calcul la profondeur limite, où $\sigma = 0.1\cdot\sigma_{ob}$ (c'est-à-dire que la contrainte supplémentaire causé par le chargement est inférieure aux 10 % de la contrainte dû au poids propre du sol.)
Si cette condition n'est pas remplie au bas de la structure en couches, une estimation du tassement est faite sur la base du tassement à ce point et le ratio de contrainte (> 0,1) est calculé.
Si la contrainte causée par le chargement au niveau du plan de base de la semelle est inférieure à la contrainte provenant des couches de sols d'origine, le tassement n'est pas calculé
AxisVM calcule le tassement pour tous les cas de charge et toutes les combinaisons ELS. Les fonctions de contrainte et de tassement sont affichées pour le cas de charge sélectionné. La fonction de compensation *s(z)* est la compensation totale des couches au-dessus de *z*.

Vérification sismique

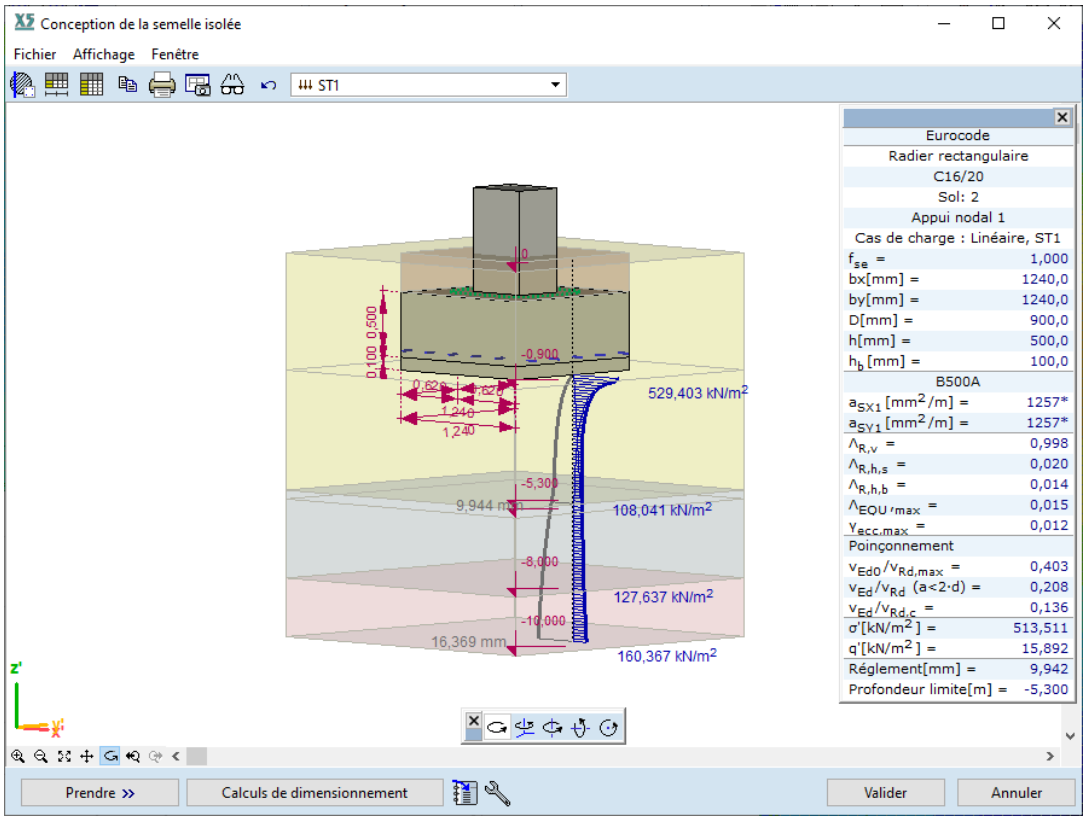
Si l'analyse des vibrations est terminée et que les charges sismiques sont générées, une vérification sismique des semelles peut être effectuée. Saisissez les paramètres suivants :



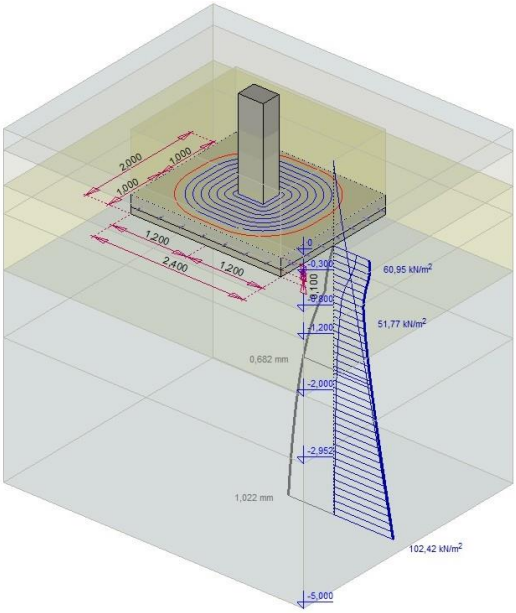
La résistance sismique de la semelle est vérifiée selon la norme EN 1998-5 Annexe F. La valeur de la résistance au *cisaillement cyclique non drainée pour un sol sans cohésion* ($\tau_{cy,u}$) doit être déterminée avec soin.

SIA Les calculs géotechniques sont effectués selon l'EN 1997-1 en utilisant les facteurs de sécurité selon la SIA. Les calculs structuraux suivent la SIA 262, l'analyse de poinçonnement est réalisée selon *Analyse de poinçonnement - module RC3*

Résultats La fondation conçue sera affichée en vue de dessus avec les couches de sol, les cercles de poinçonnement et les cotations placées automatiquement. Le projet 3D peut être zoomé et dézoomé, déplacé et tourné, tout comme le projet principal.

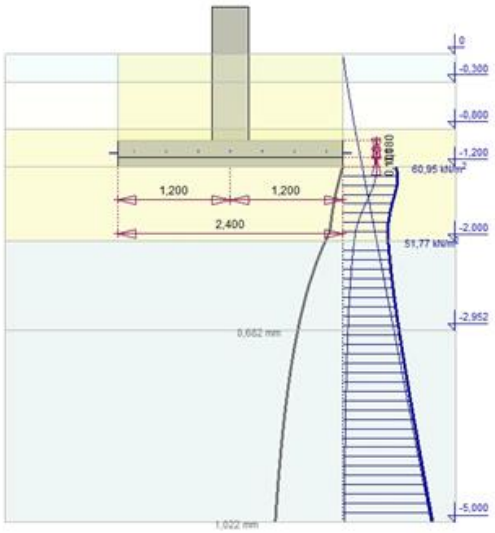


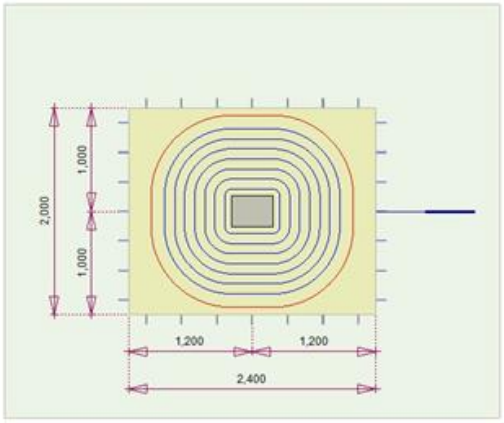
Si l'affichage du tassement est activé (voir *Paramètres d'affichage),* un diagramme bleu épais indique la contrainte totale du sol en fonction de la profondeur. Les diagrammes minces montrent la contrainte due à la charge et au poids propre du sol. Le premier diminue, le second augmente avec la profondeur. Les lignes horizontales montrent les sous-couches. Le diagramme gris de l'autre côté de l'axe représente la fonction de tassement.



Le tassement affiché dans la fenêtre d'information est la valeur de la fonction de tassement à la profondeur limite (où la contrainte causée par le chargement est de 10 % de la contrainte due au poids propre du sol).

Si cette condition n'est pas remplie au bas de la structure en couches, une estimation du tassement est faite sur la base du tassement à ce point et le ratio de contrainte (> 0,1) est calculé.





Si la contrainte causée par la charge au bas de la structure de la couche est encore supérieure à 10 % de la contrainte due au poids propre du sol, la profondeur limite ne peut être déterminée car la structure ultérieure du sol est inconnue.
Dans ce cas, la fenêtre d'information affiche la valeur de la fonction de tassement au bas de la structure des couches comme >*valeur*.
Pour améliorer l'estimation, il faut ajouter d'autres informations sur la couche de sol.

Forces internes de la semelle



Ce tableau affiche les forces des appuis sélectionnés et les résultats les plus importants, y compris la géométrie calculée.
Comme les forces d'appui sont calculées dans le système local de l'appui, les directions *x* et y sont les directions locales *x et* y de l'appui. Si les appuis sont globaux, ce sont les directions X et Y globales.

Rx, Ry, Rz, Rxx, Ryy, Rzz	Forces d'appui
qEd	Pression d'appui calculée
qRd	Résistance d'appui calculée
qEd /qRd	Facteur d'exploitation des sols
ax(b)	Armature inférieure dans la direction *x* local (si calculé)
ay(b)	Armature inférieure dans le sens *y* local (si calculé)
ax(h)	Armature supérieure dans la direction *x* local (si calculé)

ay(h)	Armature supérieure dans la direction *y* local (si calculé)
τ_{Ed}/τ_{Rd}	Exploitation basée sur le déplacement des semelles par rapport au béton de propreté
τ_{Ed2}/τ_{Rd2}	Exploitation basée sur le déplacement du béton de propreté par rapport au sol
v_{Ed}/v_{Rd}	Exploitation basée sur le poinçonnement (pour les semelles de plaques simples)
Tassement	Tassement prévu de la semelle
bx, par	Taille de la plaque de base de la semelle dans les directions *x* et *y*
dx, dy**	Taille du socle (marche ou tronc) dans les directions *x* et *y*
ex, ey**	Excentricité du centre de gravité du piédestal dans les directions *x* et *y*

Détail des forces internes



Affiche les données dans le tableau des *forces internes de la semelle* et les résultats suivants:

Approche d'étude	Approche d'étude utilisée pour calculer les résultats de la ligne
c_x, c_y	Dimensions efficaces *x* et *y du* rectangle
e_x, e_y	Excentricité de l'action dans les directions *x* et *y*
Aciers HA xb	Schéma des aciers HA dans la direction *x du* bas (si calculé)
Aciers HA yb	Système de aciers HA dans la direction du bas *y* (si calculé)
Aciers HA xt	Système de aciers HA dans la direction *x* supérieure (si calculé)
Aciers HA yt	Système de aciers HA dans la direction *y* supérieure (si calculé)
τ_{Ed}	Contrainte calculée de cisaillement entre la semelle et le béton de propreté
τ_{Rd}	Résistance calculée au cisaillement entre la semelle et le béton de propreté
τ_{Ed2}	Contrainte calculée de cisaillement entre le sol et le béton de propreté
τ_{Rd2}	Résistance calculée au cisaillement entre le sol et le béton de propreté
V_{Rdc}	Résistance minimale au cisaillement calculée sans armature de poinçonnement
V_{Rdmax}	Résistance maximale au cisaillement calculée sans armature de poinçonnement
V_{Rdcs}	Résistance de cisaillement calculée avec armature de poinçonnement
u_1	Longueur de la ligne critique
A_{sw}	Armature de cisaillement le long de la ligne de poinçonnement
Rapport de contrainte	Rapport entre la contrainte causée par la charge et la contrainte due au poids propre du sol (si la profondeur limite est en dessous du bas de la structure de la couche, sa valeur est déterminée à ce point et est supérieure à 0,1, sinon elle est de 0,1)
Profondeur limite	Profondeur où le rapport de contrainte est de 0,1 (si la profondeur limite est supérieure au bas de la structure de la couche, un *?* est affiché)



Copie de l'image dans le presse-papiers



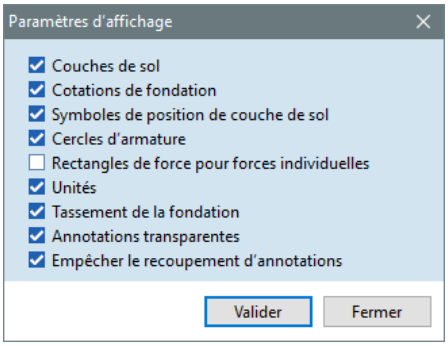
Imprime l'image dans le presse-papiers



Sauvegarde le dessin dans la Bibliothèque des dessins



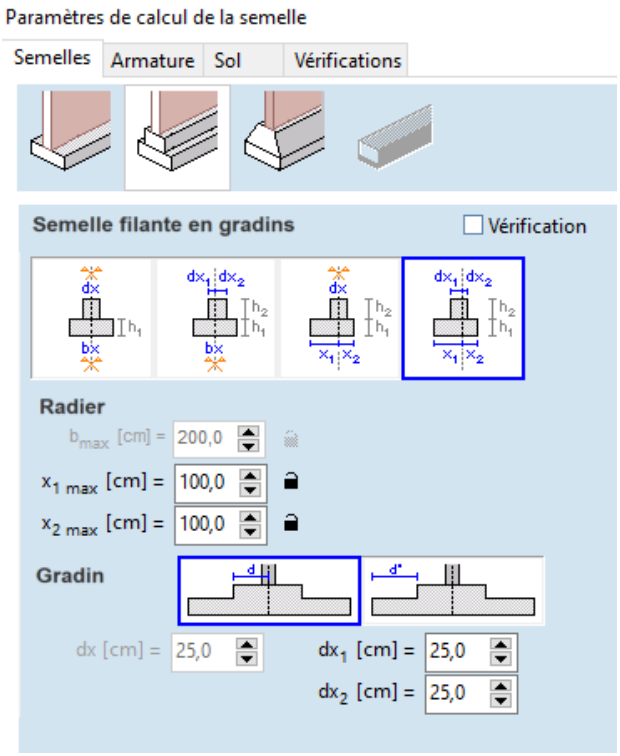
Paramètres d'affichage
Activation et désactivation des symboles du dessin.



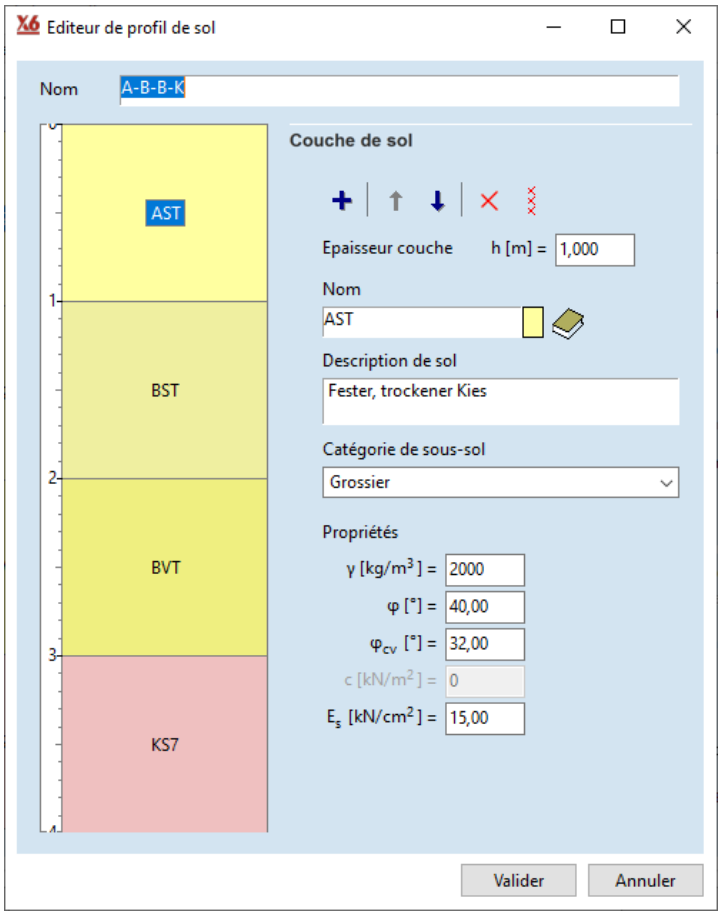
6.5.14.2. Étude de la semelle filante



AxisVM peut déterminer la taille et l'armature nécessaires des semelles filantes (avec ou sans radier), et peut vérifier la semelle contre le glissement et le poinçonnement selon l'Eurocode7 et MSz. Il détermine également l'affaissement de la fondation.
L'étude de la semelle filante est similaire à celle de la semelle isolée. Les paramètres décrivant la géométrie de la section transversale de la bande doivent être saisis.



6.5.14.3. Editeur de profil de sol



L'éditeur peut être utilisé pour modifier ou créer un profil de sol.

Le champ Nom peut également être utilisé pour renommer un profil de sol existant. Après avoir modifié un profil de sol du projet (ou de la bibliothèque), vous pouvez choisir d'écraser le profil original ou d'en ajouter un nouveau au projet (ou à la bibliothèque). Cliquez sur le diagramme des sols à gauche pour sélectionner une couche (ou utilisez les touches Haut et Bas). Les paramètres de la couche sélectionnée peuvent être édités sur la droite.



Ajouter une nouvelle couche de sol
Ajoute une nouvelle couche au fond avec l'épaisseur et les paramètres actuels. La position de la couche peut être définie à l'aide des flèches.



Déplacer vers le haut
Déplace la couche vers le haut de la couche supérieure.



Déplacer vers le bas
Déplace la couche vers le bas de la couche inférieure.



Supprimer la couche
Supprime la couche sélectionnée du profil de sol.



Supprimer tout
Supprime toutes les couches.

Propriétés de la couche de sol

Entrez *l'épaisseur de la couche* (h), un nom court de la couche, la couleur de la couche (cliquez sur le rectangle coloré pour le modifier) et une description du sol. Le diagramme du profil pédologique n'affiche que le nom court.

Les paramètres du sol utilisés dans les calculs sont :

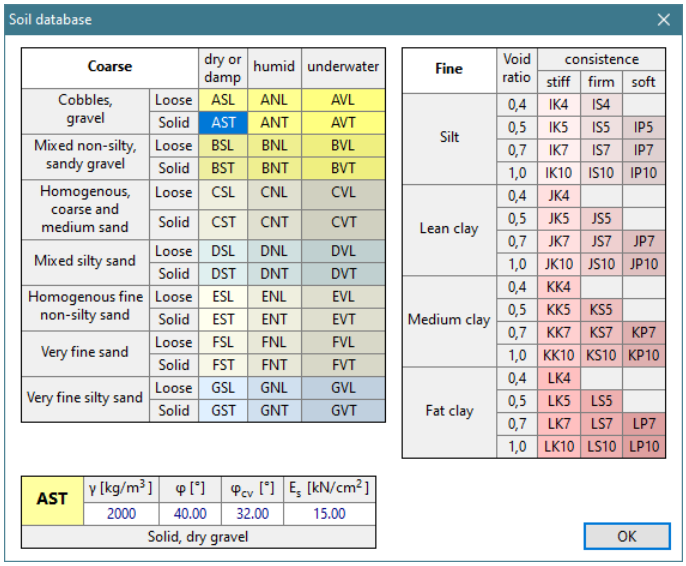
Soil type	Grossier, Grossier sous l'eau, ou Fin
γ [kg/m3]	Masse volumique
φ [°]	Angle de frottement interne
φ cv [°]	Angle d'état critique de la résistance au cisaillement (utilisé dans le contrôle du glissement)
c [kN/m2]	Cohésion (uniquement pour les sols fins)
Es	Module de compression

Soil database



En cliquant sur le bouton Base de données des sols, une boîte de dialogue s'ouvre pour sélectionner un matériau prédéfini. Les propriétés du matériau sélectionné sont affichées en bas.

En cliquant sur OK ou en double-cliquant sur une cellule, on copie les paramètres du sol sélectionné dans la couche courante.



6.5.14.4. Bibliothèque des profils de sol



Les profils de sol enregistrés dans la bibliothèque des profils de sol sont disponibles à partir de n'importe quel modèle.
La liste est classée par ordre alphabétique. Le nombre de couches est indiqué entre parenthèses sous le nom du profil, suivi de la profondeur du profil de sol. Un aperçu du profil est affiché sur la droite.
La sélection multiple est disponible de la manière habituelle (Ctrl + clic pour ajouter des éléments individuels à la sélection, Shift + clic pour tout sélectionner à partir de l'élément sélectionné).

Créer un nouveau profil de sol
L'éditeur de couches de sol est lancé, et les couches qui y sont construites sont ajoutées à la bibliothèque.

Modifier le profil de sol
Permet l'édition dans l'éditeur de profil de sol. Le profil existant peut être écrasé ou le profil modifié peut être ajouté à la bibliothèque.

Supprimer le profil de sol de la bibliothèque
Supprime les profils sélectionnés de la bibliothèque.

6.5.15. Étude de noyaux et de murs en B.A. - module RC5

Le module RC5 permet d'attribuer des armatures aux noyaux et aux murs renforcés et de vérifier l'étude des noyaux/murs soumis à une force de flexion et une force axiale.
Les armatures peuvent être affectées à des poutres ou des bandes virtuelles (voir... *2.16.16. Poutres virtuelles*) après avoir cliqué sur l'icône à gauche ou sur l'axe d'une poutre ou d'une bande virtuelle. L'icône est visible s'il y a un domaine de béton armé, s'il y a au moins une poutre ou une bande virtuelle et si des résultats statiques ou dynamiques sont disponibles dans le projet.

Après avoir cliqué sur l'icône, une poutre ou une bande virtuelle peut être sélectionné au cours de la procédure de sélection (voir... *2.16.1. Sélection*). Si la sélection n'est pas valide, le logiciel vous en avertit par un message d'avertissement. La sélection peut être invalide dans les cas suivants :

- Ni la poutre virtuelle, ni la bande virtuelle n'ont été sélectionnés.
- Plus d'une poutre/bande virtuelle a été sélectionné.
- La poutre ou la bande virtuelle sélectionné(e) a un ou plusieurs domaines non concrets.
- La poutre ou la bande virtuelle sélectionné(e) n'est pas continu.
- La section transversale de la poutre ou de la bande virtuelle n'est pas prise en charge (par exemple, section transversale variable).
- La poutre/la bande virtuelle sélectionné(e) n'est pas vertical(e) (une déviation de 15° maximum est autorisée).
- La section transversale automatique est réglée sur la poutre ou la bande virtuelle sélectionnée, mais une nervure reliée à l'un des domaines n'est pas en béton.

Après une sélection valide, la fenêtre *Noyaux et murs en béton armé s*'ouvre, dans laquelle on peut attribuer des étages et des armatures aux noyaux et aux murs et effectuer le contrôle d'étude. Au total, la fenêtre comporte trois onglets : 1) Poutres virtuelles ; 2) Bandes virtuelles ; 3) Exploitation globale.

Les poutres virtuelles peuvent être utilisées pour concevoir des noyaux en béton armé en supposant que les sections transversales restent approximativement planes avant et après le chargement. Cette hypothèse n'est probablement pas valable dans le cas de noyaux grands et courts et en cas de présence d'un moment de torsion de gauchissement considérable et d'une section transversale sensible aux effets de gauchissement.
Le module peut vérifier des sections de mur en béton (bandes virtuelles) ou des noyaux (poutres virtuelles) soumis à une flexion avec force axiale (interaction N-M). La vérification du cisaillement n'est disponible que pour les bandes virtuelles, mais l'utilisation du cisaillement ne peut pas être additionnée à l'utilisation du N-M (flexion avec force axiale). Dans le cas de noyaux complexes, la vérification du cisaillement ne peut être effectuée que pour les bandes virtuelles séparées.
Pour les forces internes excentriques (N-M)

Le contrôle d'étude des noyaux en béton armé est effectué de la même manière que le contrôle d'étude des poteaux en béton armé. Le diagramme d'interaction des forces *Nx-My-Mz de* la section transversale est calculé et il est vérifié si le point représentant les forces d'étude $N_{x,Ed}$, $M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed\ se}$ trouve dans le diagramme d'interaction. Lors du contrôle d'étude des armatures du noyau, le coefficient de longueur de flambement ne peut pas être défini, car les norme modernes (par exemple EN 1992-1-1) comprennent des méthodes permettant de prendre en compte l'effet des **imperfections** et des **effets de second ordre** au niveau de la structure. **Dans le cas des noyaux en béton armé, on suppose que les forces internes d'étude intégrées incluent l'effet des imperfections et des effets de second ordre.**

Les bandes virtuelles peuvent être utilisées pour le contrôle d'étude des extrémités de mur ou des segments de mur en tenant compte des éventuelles défaillances de flambement du mur entre les étages. Le programme est capable de calculer les excentricités supplémentaires dues aux imperfections et aux effets de second ordre concernant un étage, sur la base du coefficient de longueur de flambement donné. Après avoir additionné les excentricités initiales (calculées à partir des forces internes intégrées), le programme calcule les forces d'étude $N_{x,Ed}$, $M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$. **On suppose que les forces internes d'étude intégrées incluent l'effet des imperfections et les effets du second ordre sur le niveau structurel.** Le contrôle d'étude est effectué de la même manière que pour les noyaux en béton armé : le diagramme d'interaction des forces *Nx-My-Mz de* la section transversale est généré et il est vérifié si le point représentant les forces d'étude $N_{x,Ed}$, $M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$ *se* trouve dans le diagramme d'interaction.

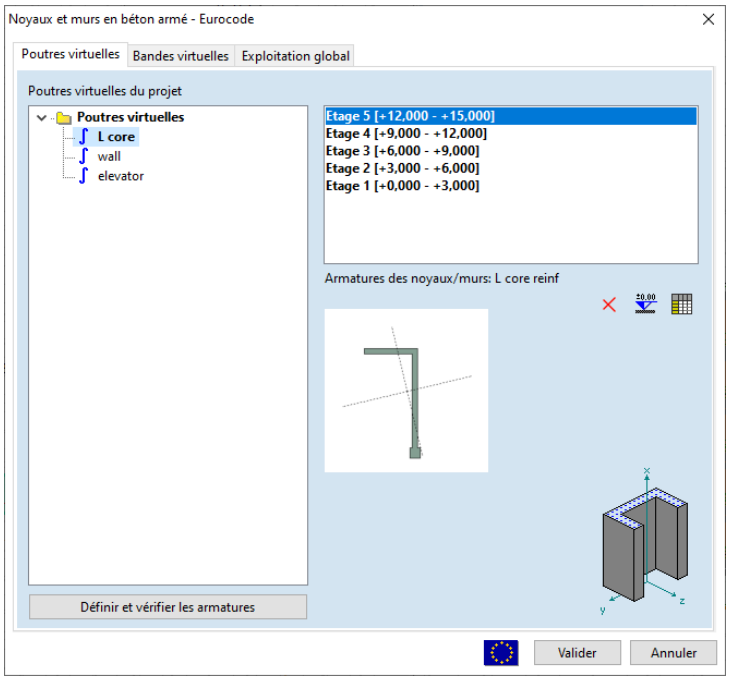
Dans l'onglet "Exploitation globale", on peut additionner les résultats d'étude des noyaux en béton armé calculés avec des poutres virtuelles et les résultats d'étude des extrémités/segments de mur calculés avec des bandes virtuelles. Cela peut être nécessaire parce que le diagramme d'interaction de la résistance *Nx-My-Mz des noyaux* est généré sans tenir compte de la perte de stabilité des extrémités de mur et des segments de mur intérieur comprimés. Le programme supporte l'exploitation de diverses règles de sommation comme on peut le voir dans les figures suivantes.

☞ **En cas d'âme sensible au gauchissement et de la présence de moments de torsion considérables, la section transversale se déforme et ne reste pas plane après le chargement. Il est recommandé d'effectuer le contrôle d'étude pour les segments de mur du noyau séparément dans de tels cas, car la section transversale ne peut pas être conçue comme un tout.**

Poutres virtuelles

Poutres virtuelles du projet

Les poutres virtuelles dans le projet sont énumérées à gauche. Si au moins des étages sont attribuées à la poutre virtuelle, le nom de la poutre virtuel est écrit en caractères gras. Après avoir cliqué sur une poutre virtuel écrit en caractères gras, les étages de la poutre virtuel sélectionné sont listés dans la zone de liste à droite de la fenêtre.
Si une armature réelle est attribuée à l'étage, celui-ci est alors indiqué en caractères gras.



Si une poutre virtuelle sans étage est sélectionnée, la liste de droite reste vide et seul le bouton du milieu est visible en dessous de la liste. Après avoir cliqué sur ce bouton, une nouvelle fenêtre s'ouvre dans laquelle de nouveaux étages peuvent être ajoutées, des étages peuvent être supprimées et modifiées.



Avant de définir l'armature réelle, il faut attribuer des étages aux poutres/bandes virtuelles. En utilisant des étages, une armature plus économique et plus efficace peut être attribuée à la poutre virtuelle qui suit le changement des forces internes.
L'étage doit avoir une intersection avec l'axe de la poutre ou de la bande virtuelle sélectionnée. Le logiciel remplit la liste des étages avec des projets d'étages prédéfinis (voir... *3.3.4 Etages*) s'il y en a. Les étages attribués à une poutre ou à des bandes virtuelles ne doivent pas nécessairement être identiques aux étages du projet.



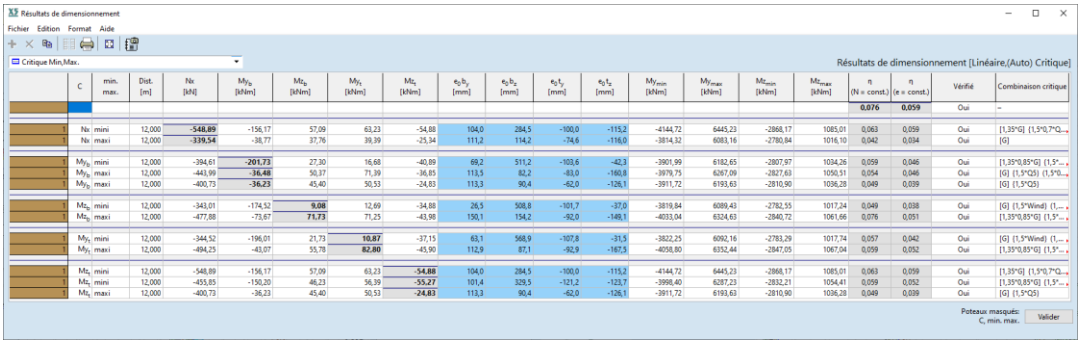
Les étages peuvent être supprimés (Croix de suppression), modifiés (crayon) et de nouveaux étages peuvent être ajoutés (+ et flèche). Les étages sont sauvegardés dans la poutre/bande virtuel. Si des étages sont assignées à la poutre/bande virtuelle, la section transversale sera affichée avec des cercles sur l'axe de la poutre/bande virtuelle indiquant les limites des étages définies.



Ce bouton permet de supprimer l'armature de l'étage sélectionné. Il n'est visible que si des armatures sont affectés à l'étage.



En cliquant sur le bouton "Tableau", les résultats d'étude de l'étage sélectionné, de la poutre virtuelle sélectionnée peuvent être visualisés sous forme de tableau (voir ci-dessous). Ce bouton n'est visible que si une armature est attribuée à l'étage.



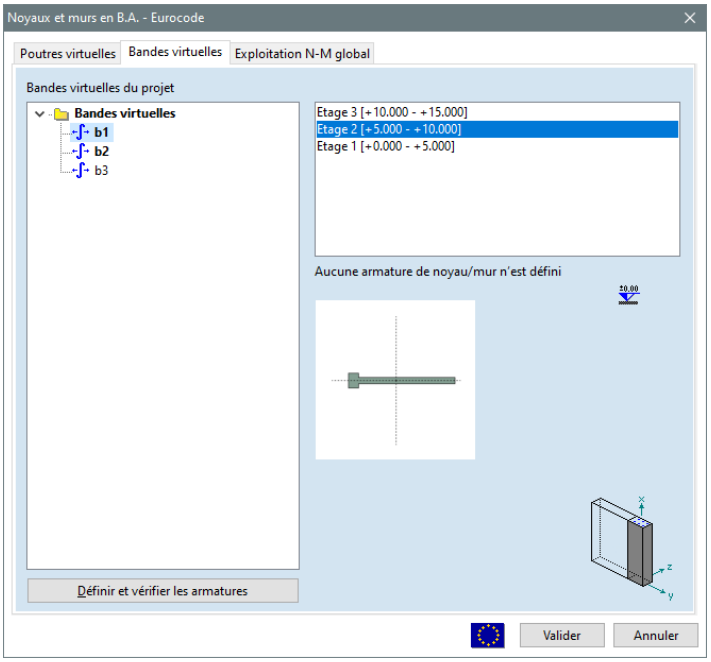
Définir et contrôler l'armature

Après avoir cliqué sur le bouton *Définir et vérifier l'armature* (ou double-cliquer sur un étage), une nouvelle boîte de dialogue s'ouvre (voir... *6.5.15.1. Définir l'armature*) où il est possible d'attribuer une nouvelle armature à l'étage ou de modifier une armature réelle.

Au lieu de cliquer sur le bouton Définir et vérifier le ferraillage, la fenêtre de définition et de vérification du ferraillage s'ouvre si vous double-cliquez sur l'étage sélectionné.

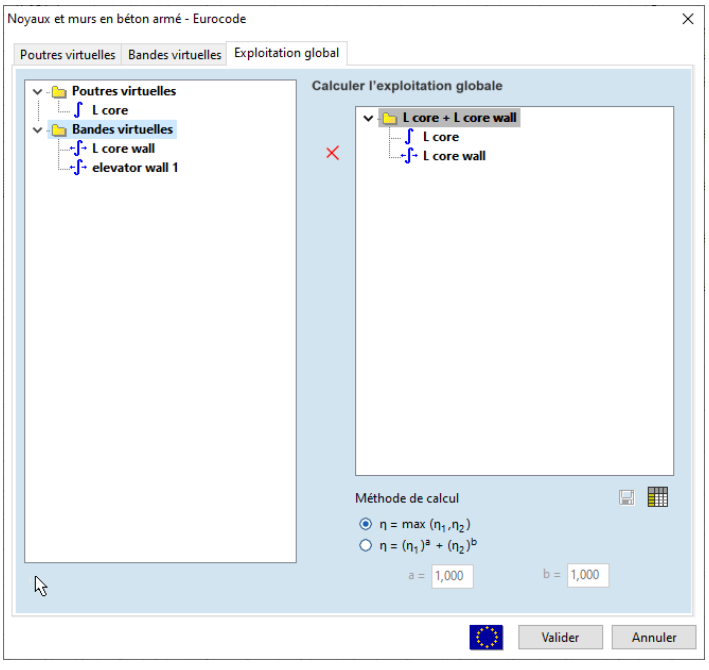
Bandes virtuelles

Dans l'onglet *Bandes virtuelles*, les mêmes fonctionnalités et boutons sont disponibles que dans l'onglet Poutres virtuelles. Des étages et des armatures peuvent être attribuées aux bandes virtuelles qui peuvent être utilisées pour modéliser et concevoir les extrémités et les segments de murs.



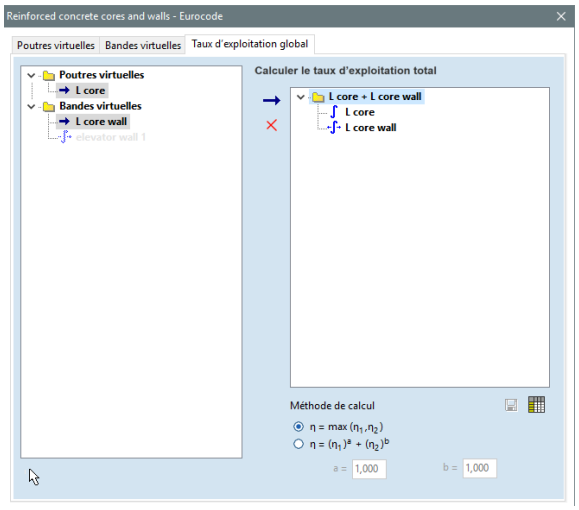
Exploitation globale

Dans l'onglet *Exploitation globale*, il est possible de créer, de supprimer et de modifier des paires de poutres virtuelles - bandes virtuelles qui sont utilisées pour calculer l'exploitation globale des noyaux et des murs en B.A.



Poutres virtuelles et bandes virtuelles dans le projet

Les poutres virtuelles et les bandes virtuelles du projet qui ont des étages et des armatures sont énumérées à gauche. S'il manque des armatures réelles à au moins un étage, le nom de la poutre ou de la bande virtuelle est écrit en lettres rouges. Dans ce cas, l'exploitation globale ne peut pas être calculée pour chaque étage.
La liste supporte la sélection multiple qui est disponible lorsque le bouton Ctrl est maintenu enfoncé. Pour créer une paire poutre virtuel - bande virtuelle, il faut sélectionner une poutre virtuelle et une bande virtuelle compatible. Si une poutre virtuelle est sélectionnée, les bandes virtuelles incompatibles seront affichées en gris clair.



☞ **Une poutre virtuelle et une bande virtuelle sont compatibles si elles ont le même nombre d'étages et si leurs étages sont identiques.**

Calcul de l'exploitation globale

Les paires de poutres virtuelles - bandes virtuelles créées sont énumérées à droite, sous l'annotation *Calculer l'exploitation globale.*



Ce bouton n'est visible que si une poutre virtuelle et une bande virtuelle compatible sont sélectionnés dans la liste de gauche. Après avoir cliqué, une nouvelle paire de poutres virtuelles - bandes virtuelles sera ajoutée à la liste. Le nom est composé à partir des noms de la poutre virtuel et de la bande virtuelle.



Ce bouton peut être utilisé pour supprimer de la liste la paire poutre virtuel - bande virtuelle.



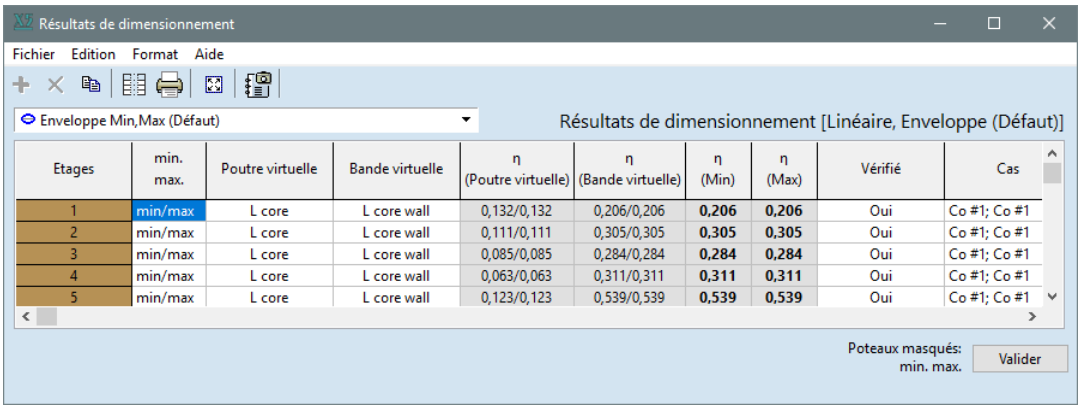
La règle de combinaison des exploitations pour la paire poutre virtuel - bande virtuelle sélectionnée peut être définie sous la liste. Les différentes règles de combinaison sont disponibles.

1. $\eta = max(\eta 1, \eta 2)$
2. $\eta = (\eta 1)^a + (\eta 2)^b$

Lors de la création d'une nouvelle paire poutre virtuel - bande virtuelle, le logiciel définit automatiquement la première règle de combinaison. Pour modifier la règle de combinaison de la paire de poutres virtuelles - bandes virtuelles sélectionnée, il faut cliquer sur le bouton de sauvegarde de la nouvelle règle après l'avoir définie.



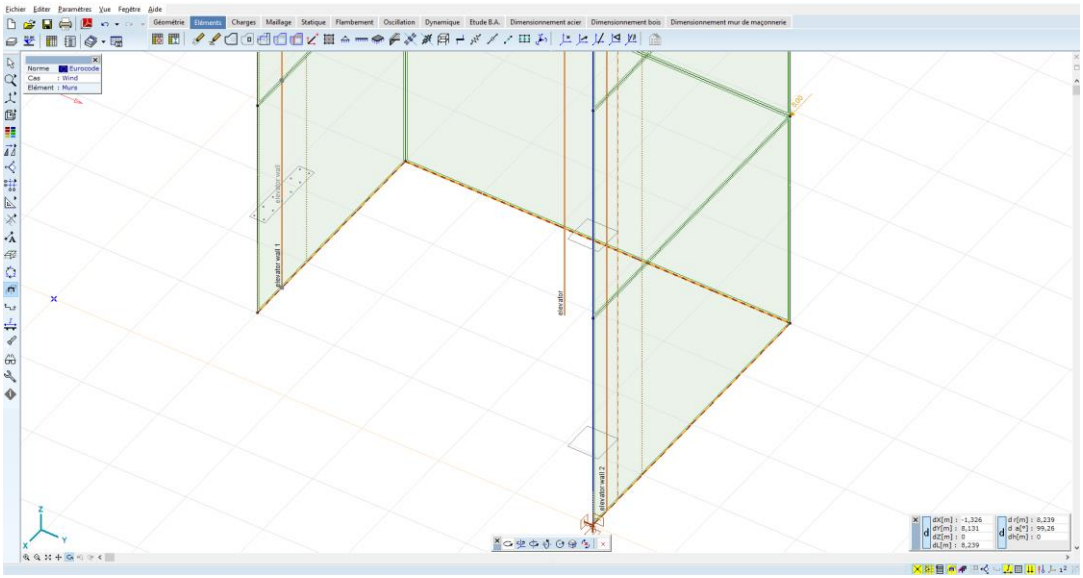
En cliquant sur le bouton "Tableau", les résultats d'étude de la paire poutre virtuel - bande virtuelle sélectionnée peuvent être visualisés sous forme de tableau (voir ci-dessous).



Etages	min. max.	Poutre virtuelle	Bande virtuelle	η (Poutre virtuelle)	η (Bande virtuelle)	η (Min)	η (Max)	Vérifié	Cas
1	min/max	L core	L core wall	0,132/0,132	0,206/0,206	**0,206**	**0,206**	Oui	Co #1; Co #1
2	min/max	L core	L core wall	0,111/0,111	0,305/0,305	**0,305**	**0,305**	Oui	Co #1; Co #1
3	min/max	L core	L core wall	0,085/0,085	0,284/0,284	**0,284**	**0,284**	Oui	Co #1; Co #1
4	min/max	L core	L core wall	0,063/0,063	0,311/0,311	**0,311**	**0,311**	Oui	Co #1; Co #1
5	min/max	L core	L core wall	0,123/0,123	0,539/0,539	**0,539**	**0,539**	Oui	Co #1; Co #1

Afficher

Si des étages et des armatures réelles sont attribuées à la poutre ou à la bande virtuelle, la section transversale avec armature sera affichée avec des cercles sur l'axe de la poutre ou de la bande virtuelle indiquant les limites des étages définies. Le nom de l'armature réelle attribuée à l'étage est affiché près du milieu de l'étage sur l'axe de la poutre ou de la bande virtuelle.



☞ **Grâce à l'association d'étages et d'armatures réels à des poutres et des bandes virtuelles, nous attribuons pratiquement des armatures à des éléments non existants (poutre virtuelle et bande virtuelle) afin d'intégrer les contraintes dans les domaines et les surfaces et d'effectuer un contrôle d'étude pour les forces internes intégrées. La largeur donnée des bandes virtuelles ou les étages définis ne correspondent pas nécessairement aux limites des domaines ou au maillage des éléments finis. Pour cette raison, les paramètres d'armatures et l'armature réelle sont indépendants des paramètres d'armatures** (voir... *6.5.1. Paramètres des armatures surfaciques et calcul des armatures - module RC1*) **et de l'armature réelle** (voir... *6.5.2.Armatures réelles*) **attribués aux surfaces. La contradiction entre les paramètres d'armatures et les armatures réelles définis de deux manières différentes n'est pas étudiée. Les statistiques des armatures dans le rapport de poids** (voir... *3.2.13.Résumé de poids)* **n'incorporent pas les armatures réelles attribuées aux poutres et aux bandes virtuelles.**

6.5.15.1. Définir l'armature

Définir et vérifier

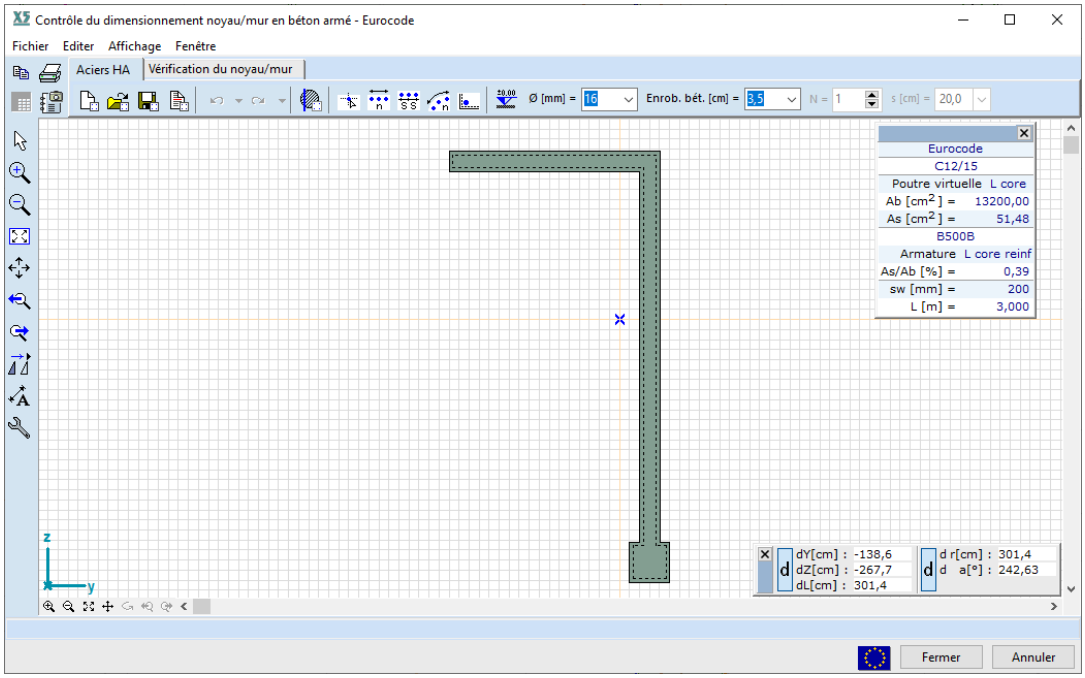
Les paramètres pour l'armature et l'armature réelle peuvent être spécifiés dans le dialogue (*Contrôle d'étude du noyau/mur en béton armé*) ci-dessous. Cette boîte de dialogue peut être ouverte après avoir cliqué respectivement sur le bouton *Définir et vérifier l'armature dans les* onglets Poutres virtuelles et Bandes virtuelles. Les fonctionnalités, boîtes de dialogue et boutons sont très similaires aux fonctionnalités, boîtes de dialogue et boutons décrits et présentés par l'armature des poteaux (voir... *6.5.4. Paramètres d'armatures de flexion bi-axiale (poteau)* et *6.5.9. Armatures de poteau - module RC2*). Sur la page des *acier HA* il est possible de spécifier le matériau acier, le matériau béton, les paramètres de flambement hors plan (uniquement dans le cas de bandes virtuelles) et de placer des aciers HA d'un certain diamètre dans la section transversale.

Section transversale

Dans cette fenêtre de dialogue, on peut voir la section transversale étudiée. Cette section transversale est héritée de la poutre ou de la bande virtuelle. En définissant des poutres et des bandes virtuelles, la section transversale peut être automatiquement créée à partir des éléments surfaciques croisés ou une section transversale personnalisée peut être définie par l'utilisateur. La section transversale ne peut pas être modifiée dans cette fenêtre, elle est une propriété de la poutre ou de la bande virtuelle. La section transversale ne peut être modifiée que dans la fenêtre *Poutres virtuelles* (voir... *2.16.16. Poutres virtuelles*).

Système de coordonnées locales

Le système de coordonnées local de la poutre/bande virtuelle joue un rôle important dans la procédure de contrôle d'étude, car les forces internes sont intégrées à partir des contraintes selon ce système de coordonnées. L'orientation de la section transversale affichée dans le *contrôle d'étude de la* fenêtre du *cœur/mur en béton armé* est également conforme à ce système de coordonnées locales.



Ajouter un dessin aus archives



Sauvegarde le dessin en cours dans la Bibliothèque des dessins.

Nouvelle armature



Définit une nouvelle armature

Charger



Charge des armatures préalablement définies.

Sauvegarder



Sauvegarde l'armature

Liste des armatures



Liste des armatures réelles.

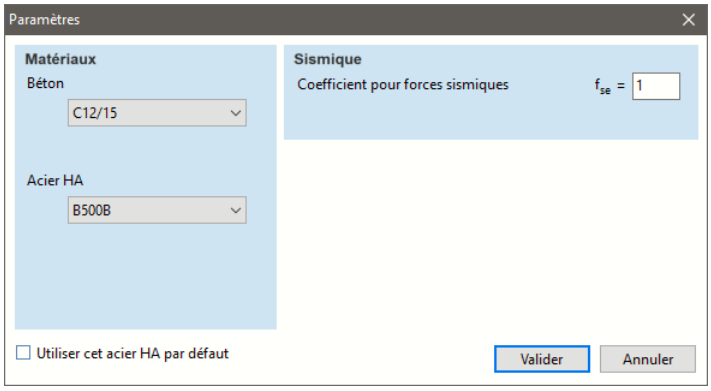
Paramètres



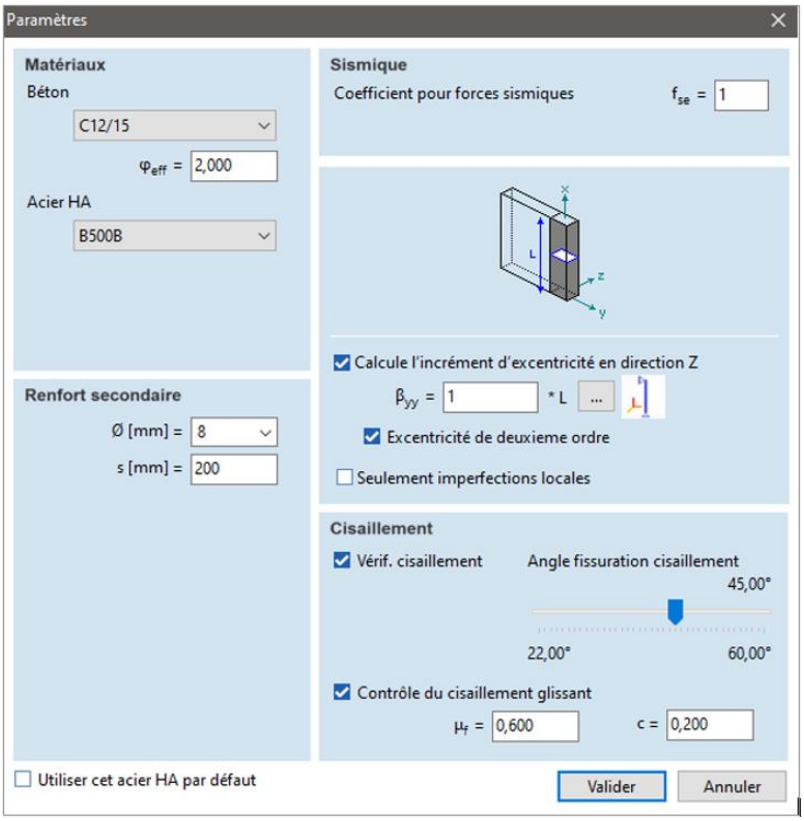
Permet de spécifier les paramètres utilisés lors du contrôle d'étude.
En cas de bandes virtuelles, β_{yy} Le facteur de longueur de flambement peut être spécifié. (β_{yy} lié au flambement dans le plan *x-z*). Il est également possible de sélectionner la forme de flambement. La longueur de flambement est calculée comme le produit du facteur de longueur de flambement et de la hauteur du mur à l'étage sélectionné.
La classe de béton considérée dans le calcul peut être modifiée par rapport à la classe de béton attribuée à l'élément structurel. Cela permet à l'utilisateur d'évaluer la sécurité structurelle avec différentes classes de béton sans nouvelle analyse statique. ϕ_{ef} est ce qu'on appelle le ratio de fluage effectif selon la section transversale 5.8.4 de la norme EN 1992-1-1.
Vous pouvez voir le coefficient des forces sismiques à *4.10.24 Charges sismiques - module SE1.*

En plus des paramètres ci-dessus, dans le cas des bandes virtuelles, le diamètre et l'espacement des armatures secondaires peuvent être définis, et la vérification du cisaillement peut être demandée. En plus de la vérification du cisaillement de la section transversale, la vérification du cisaillement par glissement peut également être sélectionnée. L'angle de la fissure de cisaillement peut être spécifié. En sélectionnant le contrôle du cisaillement par glissement, deux paramètres dépendant de la rugosité de l'interface peuvent être définis: μ_f and c.

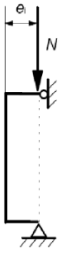
Poutre virtuel



Bande virtuelle

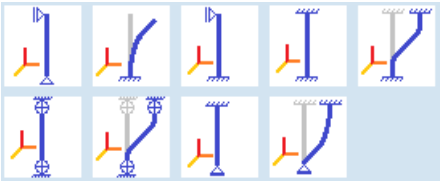


Si les imperfections globales sont prises en compte par des charges supplémentaires agissant sur la structure, elles doivent être ignorées dans le calcul des armatures. Pour ce faire, il convient de cocher la case Imperfections *locales uniquement*. Si une forme de flambement par oscillation est sélectionnée, seule une imperfection géométrique locale constante est prise en compte (voir... *6.5.15.3. Calcul de l'excentricité*).



La forme de flambement

Les excentricités de second ordre sont calculées sur la base de la forme de flambement sélectionnée (voir... *6.5.15.3. Calcul de l'excentricité*) Les facteurs de longueur de flambement sont modifiés en conséquence, mais peuvent être annulés.



Pour positionner / par enrobage

Génère un acier HA d'un diamètre donné à l'emplacement du curseur.
Si le curseur se trouve sur un coin ou sur la ligne de contour, l'armature sera placée en tenant compte de l'enrobage du béton.

Espacement

Insère uniformément *N+1* nouveaux aciers HA entre deux points sélectionnés.

Espacement avec distance constante des aciers HA



Insère de nouveaux aciers HA entre deux points sélectionnés en tenant compte de la distance constante entre les aciers HA. Si la distance entre les points d'extrémité n'est pas un multiple entier de *s distance de l'acier HA*, la distance entre la dernière et l'avant-dernière barre d'armature sera inférieure à *s*.

Espacement sur arc de cercle



Insère uniformément *N+1* nouveaux aciers HA entre un point de départ sélectionné et un point d'arrivée d'un arc circulaire.
Si un cercle entier est dessiné, le programme insère N aciers HA uniformément autour du cercle.

Placer des aciers HA dans les coins



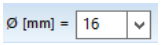
Place les aciers HA dans les coins positifs et négatifs (> 5°) s'il n'y a pas d'acier HA dans le coin.

Storeys



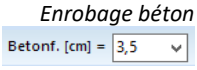
Ouvre une fenêtre où l'on peut choisir l'étage.

Diamètre

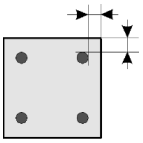


Permet de définir ou de modifier le diamètre d'un acier HA
Pour modifier, sélectionnez les aciers HA puis entrez le diamètre ou sélectionnez une valeur dans la liste.

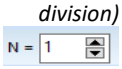
Enrobage béton



Permet de définir ou de modifier l'enrobage béton.

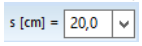


N (numéro de division)



Le numéro de division qui définit le nombre d' aciers HA comme *N+1*.

s (distance entre les aciers HA)



La distance entre les aciers HA qui est considérée comme un espacement avec une distance constante entre les aciers HA.

Transformations géométriques

Translation  Crée de nouveaux aciers HA en copiant des aciers HA existants par translation.

Rotation  Crée de nouveaux aciers HA en copiant des aciers HA existants par rotation.

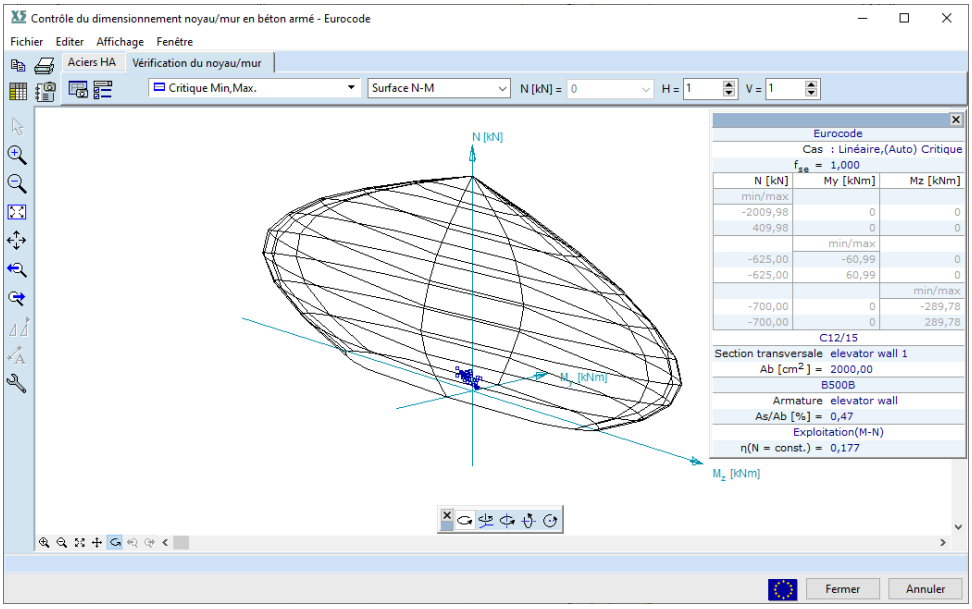
En miroir  Crée de nouveaux aciers HA en reflétant ceux qui existent déjà.

6.5.15.2. Vérifier les armatures

Le contrôle d'étude peut être effectué sur la base des norme suivants:

Eurocode 2: EN 1992-1-1:2010 + (MSZ, DIN, SR, DS, NBN, BS, NEN, SFS, SS,NS, NTC, CSN, PN, ELOT AN)

SIA: SIA 262:2013



Contrôle des murs

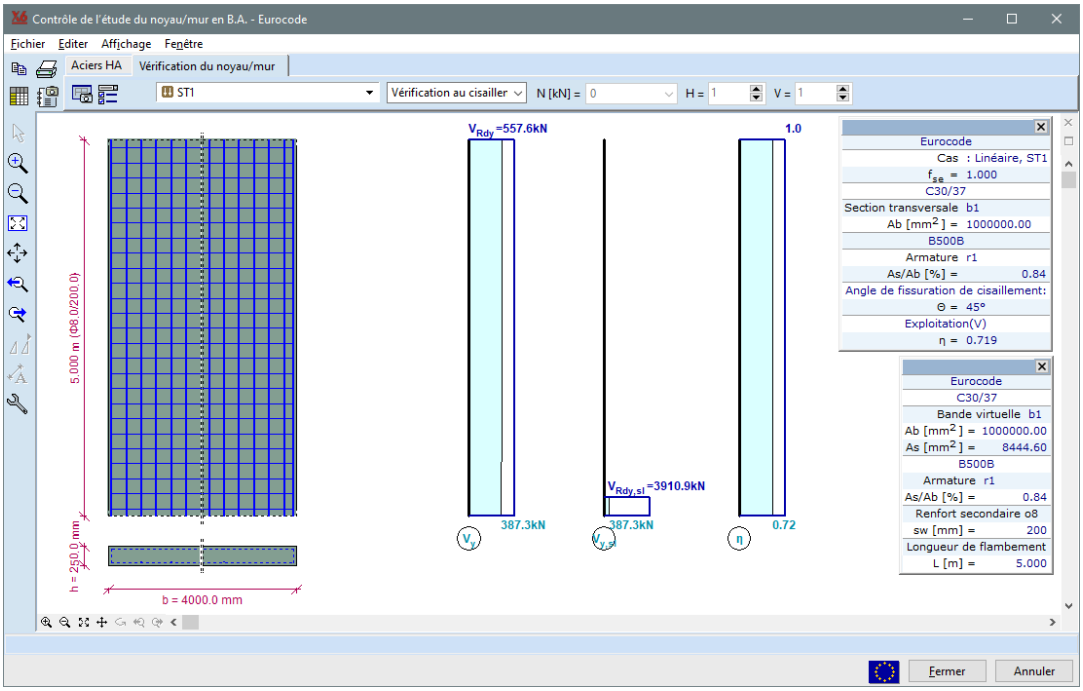
Après avoir sélectionné l'onglet *Vérification du noyau/mur*, le programme effectue la vérification de la flexion avec ou sans force axiale ou la vérification du cisaillement sur la base des propriétés de la section transversale et des paramètres de renforcement. Dans le cas d'une interaction N-M, le module détermine les excentricités provenant des imperfections et des effets de second ordre sur la base des paramètres de flambement donnés et conformément aux exigences de la norme actuel.
Le programme calcule $N_{x,Ed}, M_{y,Ed}, M_{z,Ed}$ les forces internes d'étude (voir... *6.5.15.3. Calcul de l'excentricité*) et il vérifie si ces points se trouvent dans le diagramme d'interaction.
Le contrôle d'étude des noyaux et des murs en béton armé est effectué de manière très similaire au contrôle d'étude des poteaux en béton armé. Les diagrammes, les fonctionnalités et les boutons sont donc très similaires ou identiques à ceux introduits dans les sections transversales précédentes (pour plus de détails, voir... *6.5.9. Armatures de poteau - module RC2*).
Le diagramme affiché et ses propriétés peuvent être définis dans la fenêtre Paramètres d'affichage.

La vérification du cisaillement n'est disponible que pour les bandes virtuelles, si la vérification du cisaillement est demandée parmi les paramètres de ferraillage de la paroi. Les murs sont seulement vérifiés contre les forces de cisaillement parallèles au plan du mur.
Dans la fenêtre de résultat, les figures et diagrammes suivants sont présentés:

a) la vue latérale de la bande de mur et de son armature (dans le cas de murs plus larges, seuls les segments d'extrémité du mur sont représentés).
b) l'effort tranchant de calcul (Vy) et la résistance au cisaillement (ligne bleue)
c) dans le cas d'un cisaillement par glissement, l'effort de cisaillement de calcul au pied du mur et la résistance au cisaillement par glissement (ligne bleue)
d) l'exploitation maximale (η) le long de la hauteur du mur.

☞ **Dans le cas des murs nervurés, pour le calcul de la résistance au cisaillement, seule la section transversale du domaine du mur (sans les nervures) et son renforcement sont considérés.**

Résultat de la Verification du cisaillement



Forces internes

Le tableau des *résultats d'étude* contient les forces normales maximales et les moments de flexion en haut et en bas de l'étage sélectionné du noyau/mur étudié. Les forces internes sont intégrées à partir des contraintes et elles sont associées au système de coordonnées local de la poutre ou de la bande virtuelle.

Règles de détail

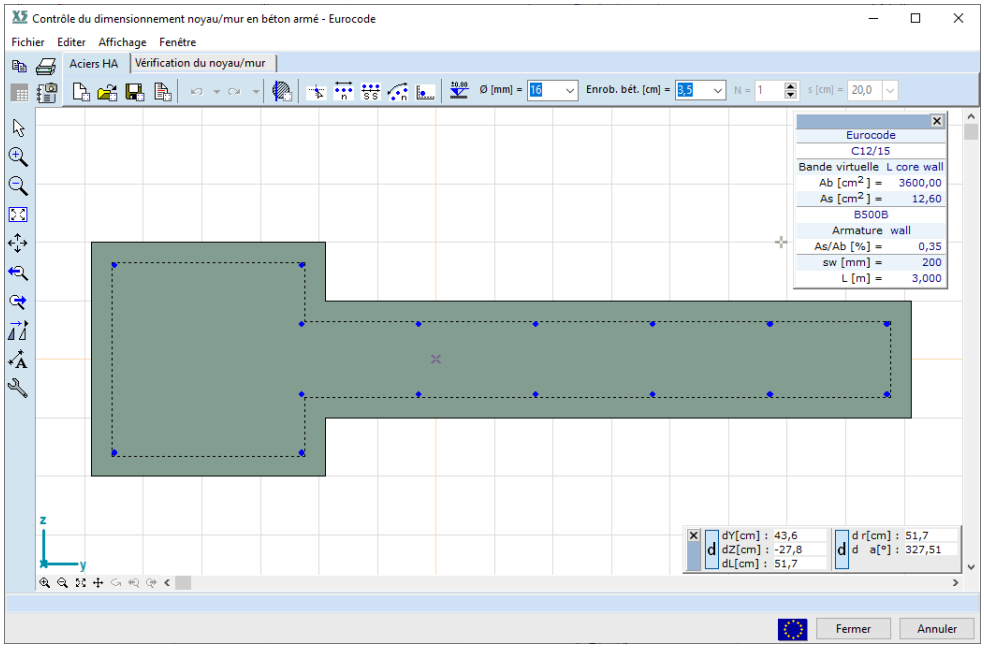
Le logiciel vérifie les règles de détail les plus critiques selon la norme actuel. Si l'une de ces règles est violée, un message d'avertissement apparaît.

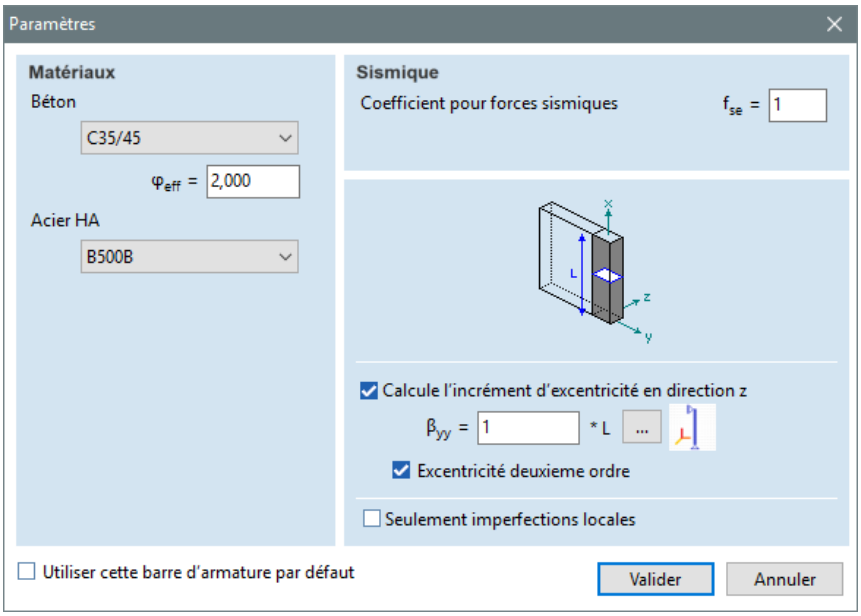
6.5.15.3. Calcul de l'excentricité

Les excentricités dues aux imperfections et aux effets de second ordre ne sont calculées que lors du contrôle d'étude des armatures affectées aux bandes virtuelles. Ces excentricités sont additionnées avec les excentricités initiales calculées à partir des forces internes. Dans le cas d'armatures attribuées à des poutres virtuelles, le logiciel ne calcule pas les excentricités dues aux imperfections et aux effets du second ordre, et les excentricités initiales sont des excentricités d'étude car les norme modernes (par exemple EN 1992-1-1) comprennent des méthodes permettant de prendre en compte l'effet des **imperfections** et des **effets du second ordre au** niveau de la structure. On suppose que les forces internes représentent déjà ces effets.

Le calcul des excentricités dues aux imperfections et aux effets de second ordre dans le cas des armatures affectées aux bandes virtuelles est effectué de manière similaire au calcul présenté par les poteaux en béton armé (voir... *6.5.9. Armatures de poteau - module RC2*). La principale différence est que les excentricités sont calculées uniquement dans la direction perpendiculaire au plan du mur (on suppose que cette direction est identique à l'axe z local).

☞ **Dans le cas d'armatures affectées à des bandes virtuelles, on suppose que l'axe z local de la bande virtuelle est perpendiculaire au mur. Pour cette raison, il est supposé que l'axe faible soit l'axe local y. Parmi les paramètres d'armatures, le coefficient de longueur de flambement lié à l'axe faible y peut être spécifié par l'utilisateur. Il est recommandé d'examiner l'orientation du système de coordonnées local avant d'effectuer le contrôle d'étude.**





6.5.15.3.1. Vérifier les armatures selon l'Eurocode 2 (flexion avec force axiale)

Les moments d'étude sont $M_d = N_d \cdot e_d$

Où N_d est la force axiale et e_d est l'excentricité calculée

- Des poutres virtuelles : $e_d = e_e$
- Des bandes virtuelles parallèles au plan : $e_d = e_e$
- Des bandes virtuelles perpendiculaires au plan : $e_d = e_e e_i e_2$

Excentricité minimale : $\max\left(20\text{mm}, \frac{h}{30}\right)$.

e_e Est l'**excentricité initiale** calculée à partir de la force axiale du premier ordre et du moment de flexion.

Excentricités initiales aux extrémités de la section transversale examinée :

$$e_e = M_I / N_d$$

Excentricités initiales à la section transversale intermédiaire de la section transversale examinée (excentricité équivalente):

$$e_e = \max\begin{Bmatrix} 0.6 \cdot e_a + 0.4 \cdot e_b \\ 0.4 \cdot e_a \end{Bmatrix} \text{ and } |e_a| \geq |e_b|,$$

Où e_a et e_b sont les excentricités initiales aux extrémités de la section transversale enquêtée.

e_i Est l'**excentricité des imperfections géométriques.**
$e_i = \alpha_h \Theta_0 \frac{l_0}{2}$ où l_0 est la longueur de flambement, $\alpha_h = 2/\sqrt{l}$ et $\frac{2}{3} \le \alpha_h \le 1$où l est la hauteur de l'étage.
Θ_0 - selon les Annexes Nationales du code sélectionné.

e_2 Est l'**excentricité de second ordre.**
L'excentricité de second ordre est prise en compte si $\lambda \ge \lambda_{lim} = 20\frac{ABC}{\sqrt{n}}$ où

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c f_{cd}} \qquad A = \frac{1}{1+0.2\varphi_{ef}}, \qquad B = \sqrt{1+2\omega}, \qquad \omega = \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}},$$

C, est une constante qui peut être modifiée dans la fenêtre *Normes*.

☛ **Le calcul de λ_{lim} peut être différent selon les Annexes Nationales du code sélectionné !**
Dans le cas de la norme DIN EN 1992-1-1: $n < 0.41 \rightarrow \lambda_{lim} = \frac{16}{\sqrt{n}}; n > 0.41 \rightarrow \lambda_{lim} = 25.0$
En cas de code italien : $\lambda_{lim} = \lambda_{lim} = \frac{25}{\sqrt{n}}$

En cas de NS EN 1992-1-1: $\lambda_n = \sqrt{\frac{n}{1+k_a\omega}} \ge \lambda_{n,lim} = 13A_\varphi$

La méthode de calcul prescrite de e_2 peut être la méthode de la courbure nominale ou la méthode de la rigidité nominale selon les Annexes Nationales du code sélectionné. Dans certaines Annexes Nationales, l'application des deux méthodes est autorisée. Dans ces cas, la méthode de la courbure nominale est appliquée.

Méthode de la courbure nominale

$e_2 = \frac{1}{r}\frac{l_0^2}{c}$

Où $\frac{1}{r} = K_r K_\varphi \frac{f_{yd}}{E_s \cdot 0.45 \cdot d}$,
$8 \le c \le \pi^2$ Basé sur le diagramme du moment de flexion de premier ordre
$K_r = \min\left\{\frac{N_u' - N_{Ed}}{N_u' - N_{bal}}; 1.0\right\}$, $K_\varphi = \max\{1 + \beta\varphi_{ef}; 1.0\}$,
$\beta = 0.35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda}{150}$Où f_{ck} est en unité N/mm2
$d' = \frac{h}{2} i_s$ Où i_s est le rayon d'inertie du renforcement longitudinal

Méthode de la rigidité nominale

$e_2 = (e_e + e_i)\left[1 + \frac{\beta}{N_B/N_d - 1}\right]$,

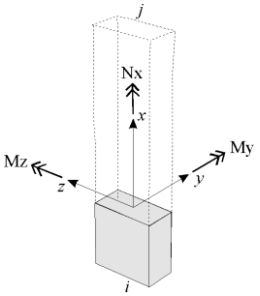
Où $\beta = \frac{\pi^2}{c}$
N_B Est la charge de flambement basée sur la rigidité nominale
$EI = K_c E_{cd} I_c K_s E_s I_s$ Est la rigidité nominale, où
E_{cd} Est la valeur de calcul du module d'élasticité du béton, voir 5.8.6 (3)
I_c Est le moment d'inertie de la section transversale du béton
E_s Est la valeur de calcul du module d'élasticité de l'armature, 5.8.6 (3)
I_s Est le deuxième moment de la zone d'armature, à peu près au centre de la zone du béton
K_c Est un facteur pour les effets de fissuration, d'élasticité, etc., voir 5.8.7.2. (2), (3)
K_s Est un facteur de contribution à l'armature, voir 5.8.7.2. (2), (3)

Les excentricités sont déterminées dans les deux plans de flexion. Le programme vérifie les situations d'étude suivantes :

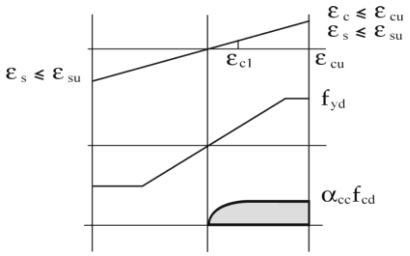
Poutres virtuelles	Bandes virtuelles
$M_{dy} = N_d e_{ez}$	$M_{dy} = N_d(e_{ez} + e_{iz} \pm e_{2z})$
$M_{dz} = -N_d e_{ey}$	$M_{dz} = -N_d e_{ey}$

AxisVM vérifie si les charges d'étude calculées *(M_{dy}, M_{dz}, N_d)* se trouvent à l'intérieur du diagramme d'interaction des forces N-M. Si ce n'est pas satisfaisant dans l'une des situations d'étude, le noyau/mur avec la section transversale et l'armature données se brise.

Sur les diagrammes d'interaction des forces N-M_R et sur les courbes d'excentricité critique, les points représentent ces charges d'étude. Des valeurs de force et de moment personnalisées peuvent également être entrées dans le tableau. Ces points seront affichés dans les diagrammes d'interaction des forces *N-M*$_R$ et dans les courbes d'excentricité critique. Les signes des forces et des moments sont déterminés en fonction de l'image.



Modèle de matériaux σ, ε Relations pour le béton et l'acier:



6.5.15.3.2. Verifier les armatures selon la norme SIA 262 (flexion avec force axiale)

Les moments d'étude sont $M_d = N_d \cdot e_d$

où N_d est la force axiale et e_d est l'excentricité d'étude.

- Des poutres virtuelles : $e_d = e_{1d}$
- Des bandes virtuelles parallèles au plan : $e_d = e_{1d}$
- Des bandes virtuelles perpendiculaires au plan : $e_d = e_{1d} e_{0d} e_{2d}$

e_{0d}: **augmentation due à des imperfections géométriques**

$e_{0d} = \max\left\{\alpha_i \frac{l_{cr}}{2}; \frac{d}{30}\right\}$

Où $\frac{1}{200} \geq \alpha_i = \frac{0.01}{\sqrt{l}} \geq \frac{1}{300}$

l_{cr} Est la longueur de flambement, l est la longueur réelle, *d est* la hauteur efficace de la section transversale.

e_{1d}Est l'**excentricité initiale** calculée à partir de la force et du moment de premier ordre.
Excentricités initiales aux extrémités de la section transversale examinée :

$$e_{1d} = M_I / N_d$$

Excentricités initiales à la section transversale intermédiaire de la section transversale examinée (excentricité équivalente):

$$e_{1d} = \max\begin{Bmatrix} 0.6 \cdot e_a + 0.4 \cdot e_b \\ 0.4 \cdot e_a \end{Bmatrix} and\ |e_a| \geq |e_b|,$$

Où e_a et e_b sont les excentricités initiales aux extrémités de la section transversale examinée.

$e_{2d} = \chi_d \frac{l_{cr}^2}{\pi^2}$,

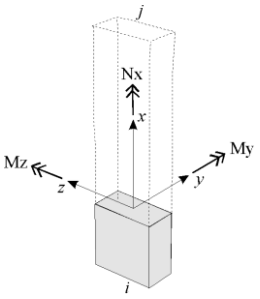
Où $\chi_d = \frac{2 f_{sd}}{E_s (d - d')}$ si l'option de courbure approximative est cochée, sinon $\chi_d = \frac{\varepsilon_{sd} - \varepsilon'_{sd}}{d - d'} \frac{|\varepsilon_{c,\infty}|}{d}$.

Les excentricités sont déterminées dans les deux plans de flexion. Le programme vérifie les situations d'étude suivantes :

Poutres virtuelles	Bandes virtuelles
$M_{dy} = N_d e_{1z}$	$M_{dy} = N_d (e_{1z} + e_{0z} \pm e_{2z})$
$M_{dz} = -N_d e_{1y}$	$M_{dz} = -N_d e_{1y}$

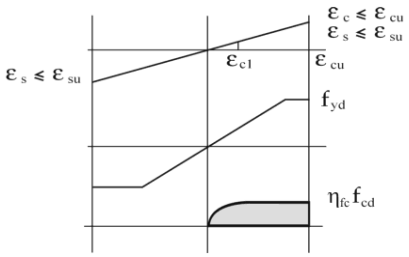
AxisVM vérifie si les charges d'étude calculées *(M_{dy}, M_{dz}, N_d)* se trouvent à l'intérieur du diagramme d'interaction des forces N-M. Si ce n'est pas satisfaisant dans l'une des situations d'étude, le noyau/mur avec la section transversale et l'armature donnés se brise.

Sur les diagrammes d'interaction des forces N-M_R et sur les courbes d'excentricité critique, les points représentent ces charges d'étude. Des valeurs de force et de moment personnalisées peuvent également être entrées dans le tableau. Ces points seront affichés dans les diagrammes d'interaction des forces N-M_R et dans les courbes d'excentricité critique. Les signes des forces et des moments sont déterminés en fonction de l'image.



Projets de matériaux

σ, ε Relations pour l'acier et le béton:



6.5.15.4. Vérification du cisaillement des murs en béton armé

Principes généraux Limites

Dans le cas de bandes virtuelles, le module permet de calculer la résistance au cisaillement et de déterminer l'utilisation en cisaillement des bandes murales. L'utilisation en cisaillement ne peut être additionnée à l'utilisation provenant de l'interaction N-M. Dans le cas de noyaux composés de plusieurs bandes de paroi, les bandes ne peuvent être vérifiées que séparément.
Dans le calcul, on suppose que les armatures verticales et horizontales ont un ancrage adéquat.

La vérification du cisaillement se compose de deux parties :

1) Le module calcule la résistance au cisaillement de la section transversale du béton et de l'armature appliquée, en considérant l'angle de fissure de cisaillement fixé parmi les paramètres de l'armature. La section transversale des nervures reliées au domaine du mur et leurs armatures ne sont pas prises en compte dans le calcul. L'analyse ne peut être appliquée qu'aux murs pour lesquels l'angle de la fissure de cisaillement est considéré comme valide.
2) Le module calcule la résistance au cisaillement par glissement au bas des murs, si ce type de vérification est demandé.

L'exploitation maximale en cisaillement d'un étage est calculée sur la base du résultat des deux contrôles ci-dessus.

Bras de levier

Lors du calcul de la résistance au cisaillement d'une section en béton armé, le bras de niveau (z) des forces internes joue un rôle important. Le bras de niveau est interprété comme la distance entre le centre de l'armature de traction et le centre de la zone de compression. Dans le cas des poutres, z est approximativement choisi 0.9d, où d est la profondeur effective. Cependant, si une force axiale est présente, cette approximation ne peut pas être utilisée. Le programme calcule automatiquement le bras de niveau des forces internes en tenant compte de la force axiale dans la section.

6.5.15.4.1. Contrôle du cisaillement et du cisaillement glissant selon l'Eurocode 2

Résistance au Cisaillement du béton

$$V_{Rd} = k_d \tau_{cd} b_w d$$
$$k_d = \frac{1}{1 + 3\varepsilon_v d}$$
$$\varepsilon_v = 1.5 \frac{f_{sd}}{E_s}$$

oú:

- τcd est la limite de la contrainte de cisaillement ($\tau_{cd} = 0{,}3\sqrt{f_{ck}}/\gamma_c$),
- bw est la plus petite largeur de la section transversale dans la zone de traction (section circulaire 0,8D),
- d est la profondeur effective.

Résistance au Cisaillement du béton

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c}k(100\rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1\sigma_{cp}\right]b_w d \geq \left(v_{min} + k_1\sigma_{cp}\right)b_w d$$

Où :

- ρ_{sl} rapport de l'armature de traction,
- b_w est la plus petite largeur de la section transversale dans la zone de traction (section circulaire 0.8D),
- d est la profondeur effective,
- σ_{cp} est la contrainte axiale dans la section transversale due à la charge ou à la précontrainte (la compression est positive) $<0.2f_{cd}$,
- Les paramètres $C_{Rd,c}$, v_{min} and k_1 qui sont réglementés dans l'annexe nationale. Les valeurs de ces facteurs peuvent être définies dans la fenêtre Normes sous l'onglet *Béton armé*. (voir... *3.3.7 Normes*)

Résistance au Cisaillement Des armatures Horizontales

Section transversale rectangulaire :

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} \cot\theta$$

Où :

- A_{sw} est la surface de la section transversale de l'armature de cisaillement,
- s est l'espacement des cadres ou le pas du cadre spiralé,
- z est le bras de levier,
- f_{ywd} est la limite élastique de conception de l'armature de cisaillement,
- θ est l'angle de la fissure de cisaillement (défini parmi les paramètres d'armature).

Résistance maximale étudié au cisaillement

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} b_w z \nu_1 f_{cd} \frac{\cot\theta + \cot\alpha}{1+\cot^2\theta}$$

Où :

- α_{cw} est un coefficient tenant compte de l'état de la contrainte dans la membrure de compression,
- ν_1 est un facteur de réduction de la résistance du béton fissuré en cisaillement,
- α est l'angle entre l'armature de cisaillement et l'axe de la poutre perpendiculaire à l'effort tranchant (dans le cas des cadres α=90°).

Résistance au cisaillement par glissement

L'analyse est basée sur les règles de la section 6.2.5 de l'Eurocode 1992-1-1 en considérant la formule et les paramètres suivants. La résistance au cisaillement glissant au bas du mur:

$$V_{Rd,sl} = A_w\left[c f_{ctd} + \mu\sigma_n + \rho f_{yd}(\mu\sin\alpha + \cos\alpha)\right] \leq 0.5\nu f_{cd}$$

Où :

- A_w est l'aire de la section transversale du domaine associé à la bande virtuelle (sans l'aire de la section transversale des nervures reliées au domaine)
- *c* et μ sont des facteurs qui dépendent de la rugosité de l'interface
- f_{ctd} est la résistance à la traction de conception
- σ_n est la contrainte par unité de surface causée par la force normale externe minimale à travers l'interface qui peut agir simultanément avec la force de cisaillement, positive pour la compression, telle que
  $\sigma_n < 0.6f_{cd}$, et négative pour la tension. Lorsque σ_n est en traction, c·f_{ctd} doit être considéré comme égal à 0.
- $\rho = A_{s0}/A_i$,

Où :

- A_{s0} est la surface des armatures traversant l'interface, y compris les armatures des nervures reliées au domaine.
- A_i est l'aire de la jonction y compris l'aire de la section transversale des nervures reliées au domaine.
- f_{yd} est la limite élastique de conception de l'armature,α = 90 (armature verticale)
- *v* est un facteur de réduction de la résistance

6.5.15.4.2. Contrôle du cisaillement et du cisaillement glissant selon le SIA 262

Résistance au Cisaillement de L'armature Secondaire

Section transversale rectangulaire

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{sd} \cot \alpha$$

Section transversale circulaire

$$V_{Rd,s} = \lambda_1 \lambda_2 \frac{A_{sw}}{s} z f_{sd} \cot \alpha$$

Où :

- A_{sw} est l'aire de la section transversale de l'armature de cisaillement,
- s est l'espacement des cadres ou le pas du cadre spiralé,
- z est le bras de levier,
- f_{sd} est la limite élastique de conception de l'armature de cisaillement,
- α est l'angle de la fissure de cisaillement,
- λ_1 est le facteur de réduction pour les cadres circulaires,
- λ_2 est le facteur de réduction pour les cadres en spirale.

Résistance maximale étudié au cisaillement

$$V_{Rd,c} = b_w z k_c f_{cd} \sin \alpha \cos \alpha$$
$$k_c = \frac{1}{1.2 + 55\varepsilon_1} \leq 0.65$$
$$\varepsilon_1 = \varepsilon_x + (\varepsilon_1 + 0.002) \cot^2 \alpha$$

Où :

k_c est un facteur de réduction de la résistance pour le béton fissuré en cisaillement.

Résistance au cisaillement par glissement

L'analyse est basée sur les règles de la section 4.3.4.3.2 de la SIA 262 en considérant la formule et les paramètres suivants. La résistance au cisaillement glissant au bas du mur:

$$V_{Rd,sl} = b_w \cdot z(k_{c\tau} \tau_{cd} - k_{c\sigma} \sigma_d) \leq 0.15 f_{cd}$$

Où :

- b_w est l'épaisseur du domaine associé à la bande virtuelle (épaisseur de la paroi),
- les sections transversales des nervures ne sont pas considérées,
- z est le bras de levier des forces internes (en considérant la section du domaine associé à la bande virtuelle, mais sans la section des nervures).
- $k_{c\sigma}$ est le facteur de réduction de la contrainte normale,
- $k_{c\tau}$ est le facteur de réduction de la contrainte de cisaillement limite,
- τ_{cd} est la valeur de dimensionnement de la limite de contrainte de cisaillement,
- f_{cd} est la valeur de dimensionnement de la résistance à la compression du béton,
- σ_d est la contrainte normale à travers l'interface, calculée par la formule suivante

$$\sigma_d = \frac{-|V_d| \cot \alpha}{z \cdot b_w} + \frac{N_d}{l_w b_w}$$

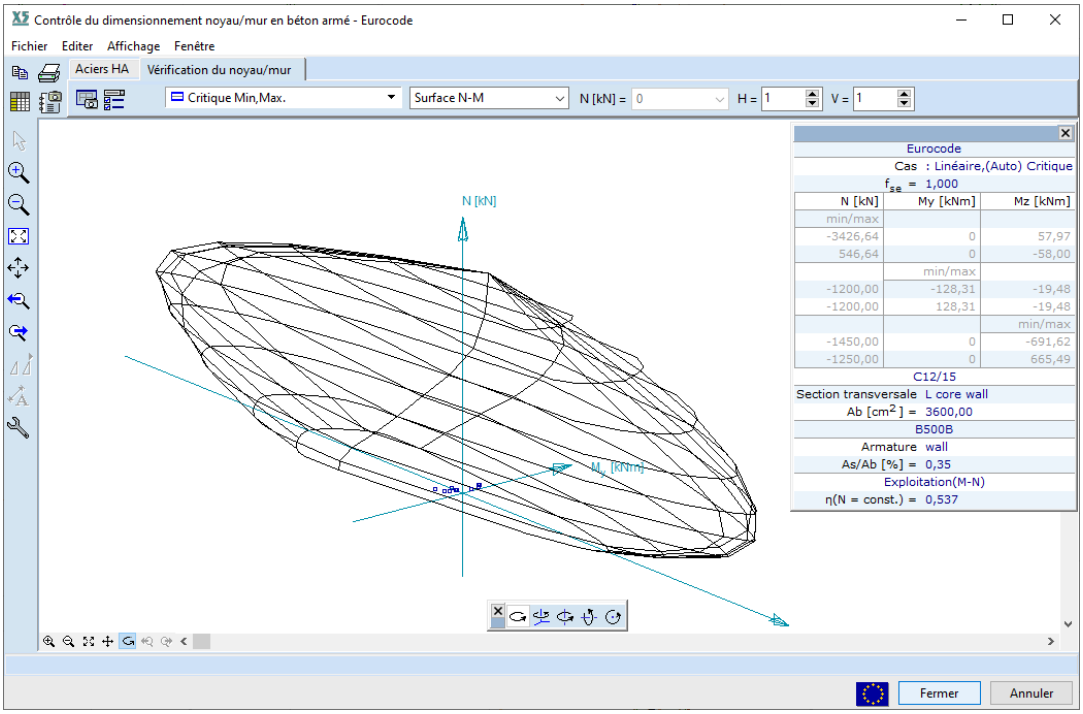
Où :

- N_d est la valeur de dimensionnement de la force normale agissant sur la section transversale de la bande virtuelle. Elle est négative en cas de compression.
- V_d est la valeur de dimensionnement de la force de cisaillement,
- α est l'inclinaison du champ de compression,
- l_w est la longueur de la paroi de cisaillement (longueur de la bande virtuelle)

6.5.15.5. Résultats

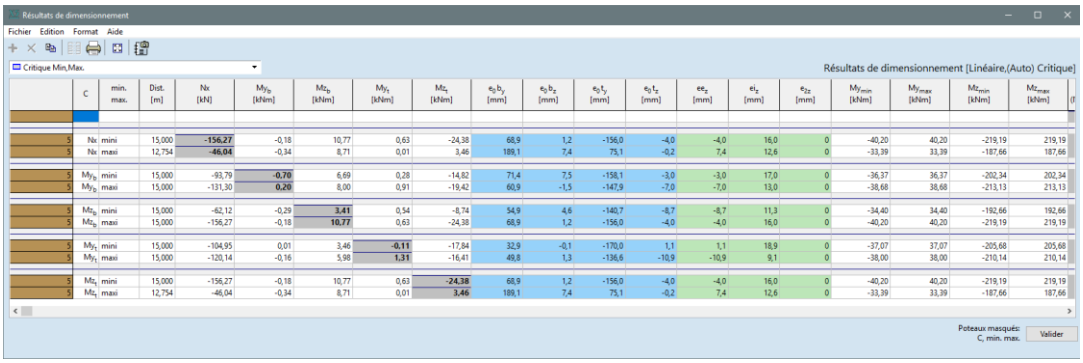
Les résultats d'étude des noyaux et des murs en béton armé sont disponibles de nombreuses façons dans le logiciel.

Dessins



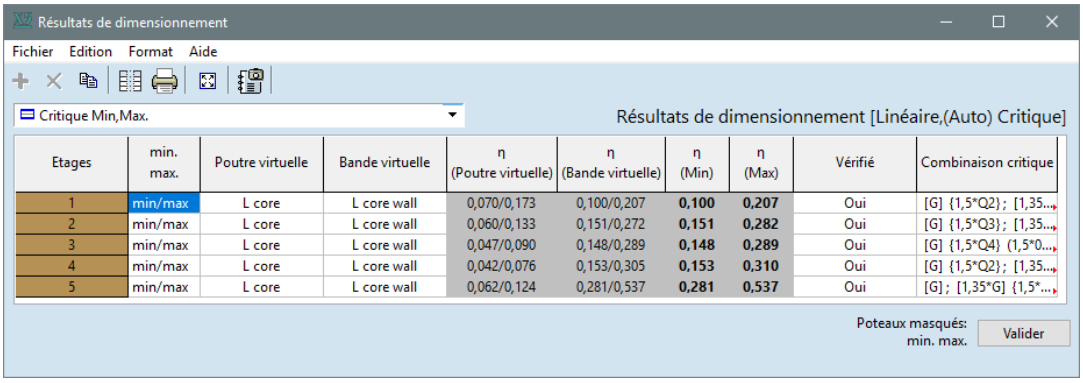
Les dessins de contrôle d'étude (diagrammes d'interaction des forces N_x-M_y-M_z, N_x-M_y, N_x-M_z et M_y-M_z, courbes d'excentricité critique, contrôle de cisaillement) peuvent être enregistrés dans la bibliothèque de dessins en cliquant sur le bouton *Enregistrer dans* la bibliothèque de dessins (voir... *3.6.10. Bibliothèque de dessins*).

Tableaux



Le tableau des *résultats d'étude* est disponible via la fenêtre *vérification d'étude des noyaux et murs en béton armé* également.
Si le tableau est ouvert à partir de la boîte de dialogue Contrôle de conception, les résultats présentés dépendent du dessin de contrôle de conception actif. (Si la vue du résultat actif est Nx-My-Mz, Nx-My, Nx-Mz et My-Mz diagrammes d'interaction de résistance ou courbes d'excentricité critique, alors seul le résultat de l'interaction N-M est résumé. Si la vue active du résultat est Contrôle du cisaillement (disponible uniquement pour les bandes virtuelles), seule l'exploitation du cisaillement est affichée).
Le tableau est modifiable s'il est ouvert via la fenêtre *contrôle d'étude du noyau/mur en béton ar mé*. Dans ce cas, les colonnes peuvent être activées/désactivées et de nouvelles valeurs de force et de moment personnalisées peuvent également être ajoutées au tableau. Si le tableau est ouvert à partir de la fenêtre *Noyaux et murs en béton armé, il* n'est pas modifiable.
Dans ce cas, le cas/combinaison de charge, l'enveloppe ou la combinaison de charge critique automatique considérée dans le contrôle de conception peuvent être sélectionnés dans la liste déroulante. Après avoir modifié la situation de charge, les contrôles de conception sont effectués automatiquement, ce qui peut prendre quelques secondes.

Le tableau des *résultats de conception* pour les utilisations globales (disponible uniquement pour l'interaction N-M) ne peut être ouvert que par la fenêtre *Noyaux et murs en béton armé*. Le tableau résume les résultats de conception pour la poutre virtuelle et la bande virtuelle et montre également l'utilisation globale.
Si l'exploitation ne peut pas être calculée pour une raison quelconque, elle est indiquée par le symbole ? ??. Si l'exploitation calculée dépasse 1.0, l'utilisation est affichée en rouge.
L'exploitation globale est l'exploitation de l'interaction N-M. Les résultats de la vérification du cisaillement des bandes ne sont pas pris en compte.



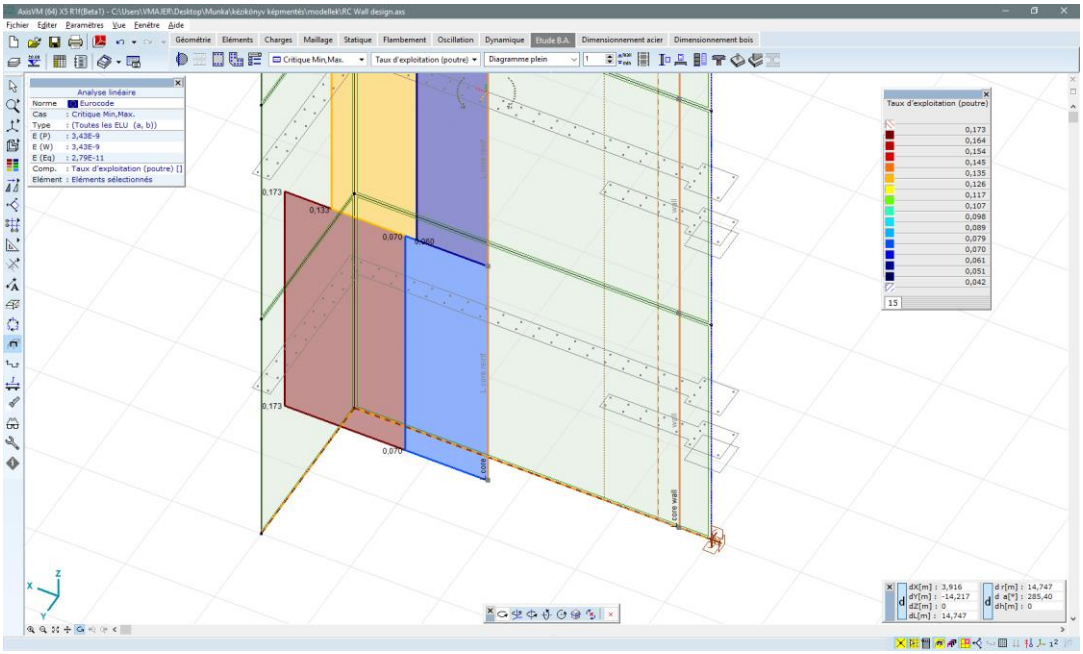
Etages	min. max.	Poutre virtuelle	Bande virtuelle	η (Poutre virtuelle)	η (Bande virtuelle)	η (Min)	η (Max)	Vérifié	Combinaison critique
1	min/max	L core	L core wall	0,070/0,173	0,100/0,207	**0,100**	**0,207**	Oui	[G] {1,5*Q2}; [1,35...
2	min/max	L core	L core wall	0,060/0,133	0,151/0,272	**0,151**	**0,282**	Oui	[G] {1,5*Q3}; [1,35...
3	min/max	L core	L core wall	0,047/0,090	0,148/0,289	**0,148**	**0,289**	Oui	[G] {1,5*Q4} (1,5*0...
4	min/max	L core	L core wall	0,042/0,076	0,153/0,305	**0,153**	**0,310**	Oui	[G] {1,5*Q2}; [1,35...
5	min/max	L core	L core wall	0,062/0,124	0,281/0,537	**0,281**	**0,537**	Oui	[G]; [1,35*G] {1,5*...

Composantes des résultats

S'il y a des étages et des armatures réelles assignés à des poutres/bandes virtuelles dans le projet et que des résultats statiques (linéaires/non linéaires) ou dynamiques sont disponibles, de nouveaux éléments de résultats deviennent disponibles sur l'onglet étude B.A. lié aux résultats de contrôle d'étude des noyaux et des murs :

- *Exploitation (poutre)* - s'il y a des étages et des armatures réelles assignées aux poutres virtuelles dans le projet,
- *Exploitation (bande)* - s'il y a des étages et des armatures réelles assignées aux bandes virtuelles dans le projet,
- *L'exploitation globale* - si au moins une poutre virtuelle - la paire de bandes virtuelles est définie dans la fenêtre *Noyaux et murs en béton armé.*
- *Exploitation N-M (bande virtuelle*) - si des étages et des renforts réels sont affectés à des bandes virtuelles dans le modèle,
- *Exploitation de V (bande virtuelle)* - si des étages et des armatures réelles sont affectés à des bandes virtuelles dans le modèle et si une vérification du cisaillement est demandée.
  (Les résultats de l'exploitation globale sont affichés sur des bandes virtuelles de poutres virtuelles - paires de bandes virtuelles).

L'exploitation globale est l'exploitation de l'interaction N-M. Les résultats des contrôles de cisaillement des bandes ne sont pas pris en compte



Résultat dans le navigateur de tableau

Les résultats de conception sont également disponibles dans le navigateur de tableaux (voir... *2.9 Navigateur de tableau*), où les résultats de chaque mur en béton armé sont disponibles dans des tableaux récapitulatifs.

6.5.16. Analyse des contraintes et des déformations structurelles en B.A. - module RC6

Les contraintes et les déformations à l'intérieur des éléments en béton armé sont importantes dans de nombreux cas (par exemple, les vérifications de l'aptitude au service, l'analyse de la fatigue). Le module RC6 permet l'analyse des contraintes et des déformations des poteaux, des poutres et des éléments surfaciques avec des armatures réelles pour les forces internes, en tenant compte de l'effet des armatures réelles, des fissures dans le béton et du comportement non linéaire des matériaux.
Le but de l'analyse est d'obtenir la déformation et les courbures de la section pour des forces internes données. Etant donné que ce problème n'est ni continu ni linéaire, une itération est nécessaire pour trouver l'équilibre.

☞ Le module RC2 est une condition préalable à l'exploitation du module RC6 car des armatures réelles des poteaux ou des poutres sont nécessaires (voir... *6.5.3 Paramètres d'armatures de flexion uni-axiale (poutre)* et *6.5.4 Paramètres d'armatures de flexion bi-axiale (poteau)*.

☞ **Le module RC1 est une condition préalable à l'utilisation du module RC6 pour l'analyse des éléments surfaciques. Seules les dalles normales (solides), les dalles nervurées, les dalles nervurées composites et les dalles avec une matrice de rigidité personnalisée peuvent être analysées avec ce module.**

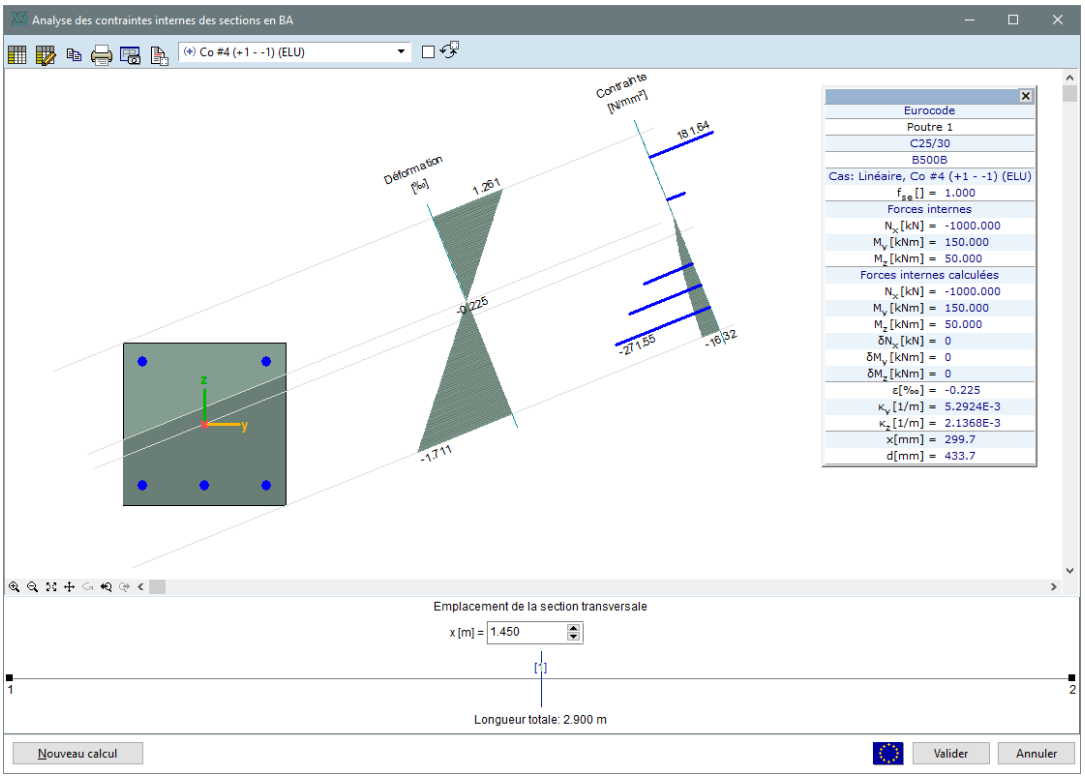
6.5.16.1. Analyse contrainte-déformation des éléments de poutre et de poteau



Cliquez sur l'icône, puis sélectionnez un (et un seul) élément de structure en béton armé (voir... *2.16.1 Sélection*). L'icône est active si le projet comporte au moins un élément structurel en béton armé (poutre, nervure, ferme) avec une armature réelle. Les problèmes de sélection suivants déclenchent un message d'avertissement

- Aucun élément structurel n'a été sélectionné.
- Plus d'un membre structurel a été sélectionné.
- Le matériau de l'élément structurel sélectionné n'est pas du béton, ou bien aucune armature réelle n'a été définie pour l'élément.
- L'élément structurel sélectionné a une section transversale composite.

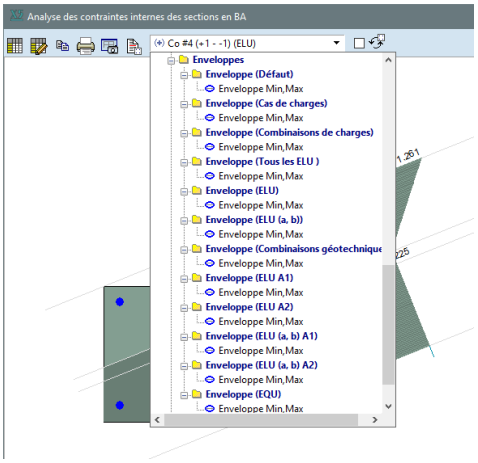
Si la sélection est acceptée, la boîte de dialogue *Analyse des contraintes-déformations pour les sections transversales en béton armé* apparaît et permet d'effectuer l'analyse des contraintes-déformations pour n'importe quelle section transversale le long de l'élément.



Cas de charge, combinaison de charges, enveloppe ou combinaison critique

Vous pouvez sélectionner un cas dans la liste déroulante à afficher :

- Cas de charge, combinaison de charges
- Le k-ième incrément d'une analyse non linéaire
- Affichage des enveloppes
- Combinaison critique



Position de la section transversale

L'analyse de contrainte-déformation est effectuée pour les forces internes dans une section transversale donnée. L'emplacement de la section transversale peut être réglé à l'aide du curseur en bas de la fenêtre.

Tableau des résultats - voir... *6.5.16.4 Résultats*

Tableau des résultats (forces internes personnalisées) - voir... *6.5.16.4 Résultats*

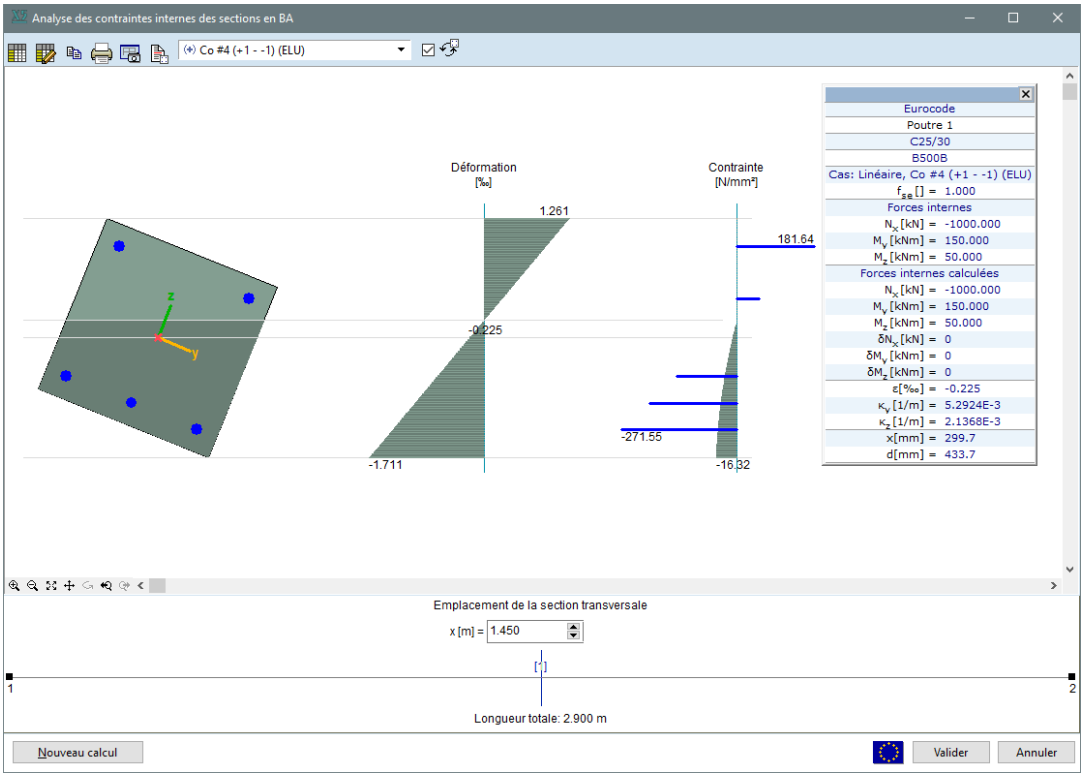
Copie l'image dans le presse-papiers.

Imprime l'image.

Enregistre le dessin dans la bibliothèque de dessins (voir... *3.6.10. Bibliothèque de dessins* et *3.6.11. Sauvegarder dans la bibliothèque des dessins*

Paramètres de l'analyse de contrainte-déformation - voir... *6.5.16.3 Analyse des déformations et des contraintes*

Affichage des résultats de contrainte et de déformation sur une section transversale tournée.



Recalcul Il peut arriver que l'algorithme heuristique ne trouve pas l'équilibre ou que sa précision ne soit pas adéquate. Dans ces cas, l'analyse contrainte-déformation peut être répétée en cliquant sur le bouton *Recalculer*.

6.5.16.2. Analyse des paramètres Contraintes - Déformation

Les paramètres pris en compte dans l'analyse de contrainte-déformation peuvent être saisis dans le dialogue suivant.

Matériau

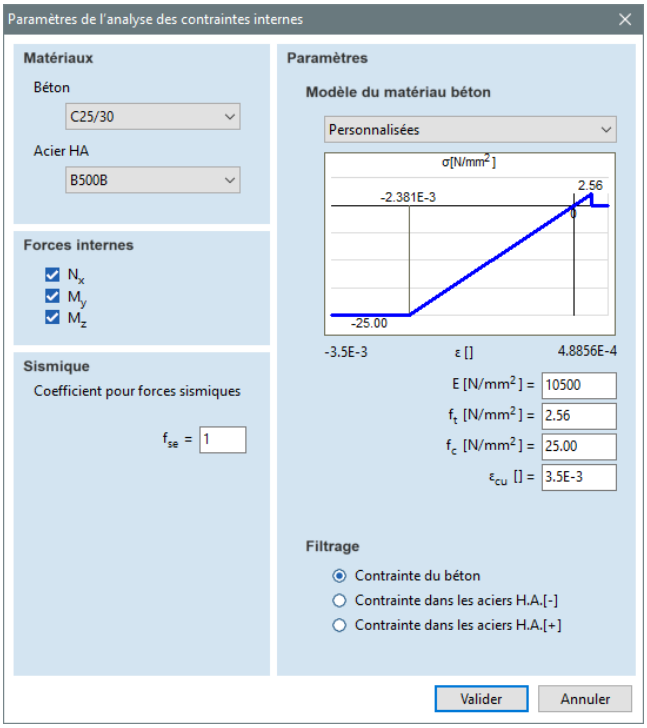
La qualité du béton et des aciers HA peut être spécifiée.

Forces internes

Les composantes de la force interne peuvent être activées ou désactivées. Seules les composantes vérifiées sont prises en compte dans l'analyse contrainte-déformation. Au moins une composante doit être sélectionnée.

Sismique

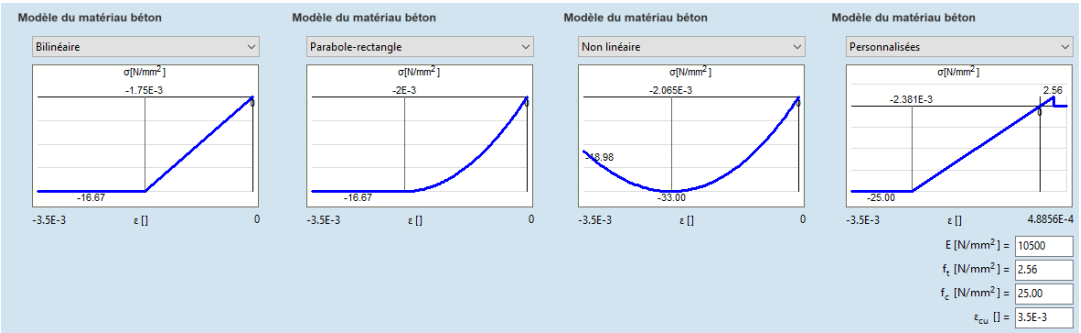
Pour le coefficient des forces sismiques, voir... *4.10.24. Charges sismiques - module SE1.*



Modèle de matériau en béton

Le modèle de matériau en béton non linéaire peut être sélectionné à partir d'une liste déroulante. Les projets de matériaux disponibles sont différents respectivement pour les normes Eurocode et SIA

Eurocode



Bilinéaire

Modèle de matériau en béton selon la section transversale 3.1.7. (2) de la norme EN 1992-1-1

$\sigma = f_{cd}$ ha $\varepsilon < -\varepsilon_{c3}$

$\sigma = f_{cd}\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{c3}}$ ha $0 \geq \varepsilon \geq -\varepsilon_{c3}$

Parabole-rectangle

Modèle de matériau en béton selon la section transversale 3.1.7. (2) de la norme EN 1992-1-1

$\sigma = f_{cd}$ ha $\varepsilon < -\varepsilon_{c2}$

$\sigma = f_{cd}\left[1-\left(1-\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{c2}}\right)^{n}\right]$ ha $0 \geq \varepsilon \geq -\varepsilon_{c2}$

Non linéaire

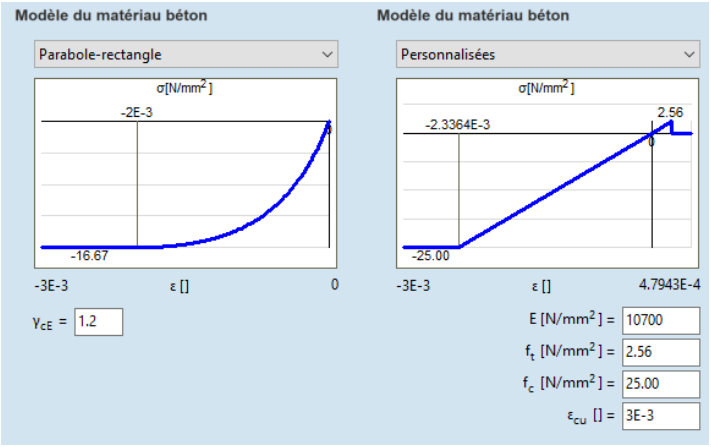
Modèle de matériau en béton selon la section transversale 3.1.5. (1) de la norme EN 1992-1-1

$$\frac{\sigma}{f_{cm}} = \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k-2)\eta}$$

Personnalisation

Les paramètres du modèle de matériau sont spécifiés par l'utilisateur. Ils peuvent être utilisés pour considérer la résistance à la traction ou l'effet du fluage sur la rigidité du béton.

SIA



Parabola-rectangle

Projet de matériau en béton selon la section transversale 4.2.1.6. de la norme SIA 262

$$\frac{\sigma_c}{f_{cd}} = \frac{k_\sigma \zeta - \zeta^2}{1 + (k_\sigma - 2)\zeta}$$

☞ **Les normes spécifient des modèles de matériaux bilinéaires, paraboliques et non linéaires, en particulier pour l'étude des sections transversales. Pour cette raison, la rigidité du béton n'est pas nécessairement égale à la rigidité utilisée par les calculs manuels. Si un modèle de matériau personnalisé est sélectionné pour le béton, le module d'Young du béton peut être saisi. Ce modèle de matériau peut être utilisé si la résistance à la traction ou l'effet de fluage est pris en compte.**

☞ **Le comportement de l'acier est décrit par un projet de matériau bilinéaire.**

Filtrer les résultats

Si les résultats de l'enveloppe ou de la combinaison critique sont sélectionnés dans le dialogue *Analyse de contrainte-déformation pour les sections transversales en béton armé*, l'analyse est effectuée pour des cas de charge et des combinaisons multiples. Les résultats de ces analyses sont visibles dans les tableaux de résultats, cependant, seuls les résultats du cas/combinaison critique sont présentés graphiquement et listés dans la fenêtre d'information. Le cas/combinaison présenté peut être critique en termes de contrainte dans le béton ou dans l'armature. Définissez l'option requise sous *Filtrage*.

6.5.16.3. Analyse des déformations et des contraintes

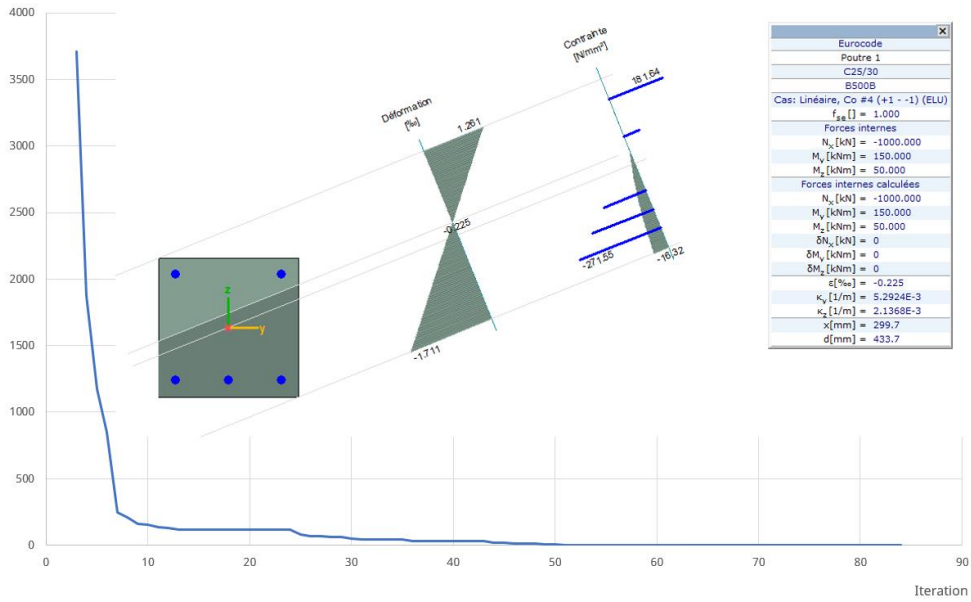
Au cours de l'analyse, la déformation et les courbures de la section transversale sont calculées pour des forces internes données en tenant compte des propriétés non linéaires du matériau et de la fissuration du béton. Les norme pris en charge sont les suivants

Eurocode 2 : EN 1992-1-1:2010
SIA : SIA 262:2013

☞ **Le module RC6 peut utiliser le calcul parallèle si l'enveloppe ou la combinaison critique est sélectionnée, il est donc recommandé d'activer l'option de threads multiples** (*Paramètres / Préférences/ Analyse).*

Itération

Le problème étant non linéaire et non continu, une itération doit être effectuée pour trouver l'équilibre. Le module RC6 utilise un algorithme heuristique basé sur un algorithme génétique.



☞ **Dans certains cas, il peut arriver que l'algorithme heuristique ne trouve pas l'équilibre ou que sa précision ne soit pas adéquate (la différence maximale acceptée en force axiale est de 1% ou 1 kN et en moment de flexion est de 1 kNm). L'analyse contrainte-déformation peut être répétée en cliquant sur le bouton *Recalculer*.**

Intégration

Les forces internes compatibles avec les contraintes sont calculées à l'aide de ce qu'on appelle le modèle de fibres par intégration numérique basé sur les déformations normales ε, les courbures κy et κz. L'utilisateur peut spécifier le modèle de matériau du béton et la qualité de l'acier HA

6.5.16.4. Résultats

Résultats

Les résultats de l'analyse contrainte-déformation sont présentés dans des tableaux de résultats et sous forme de diagramme dans la fenêtre principale. Erreurs possibles dans l'analyse contrainte-déformation :

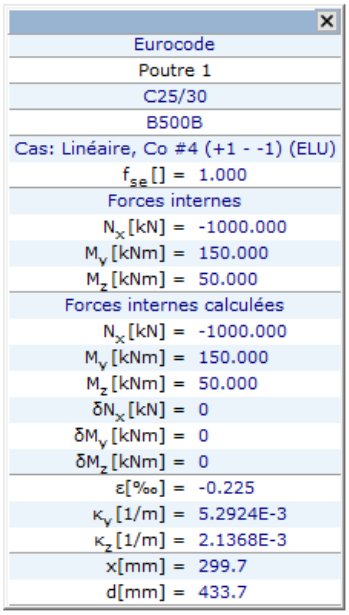
- L'algorithme ne trouve pas l'équilibre, l'analyse contrainte-déformation doit être répétée.
- Les forces internes dépassent la résistance de la section transversale.

Enveloppe et combinaison critique

Les résultats du cas/combinaison critique sont présentés sous forme de diagramme et listés dans la fenêtre d'information si l'enveloppe ou la combinaison critique est sélectionnée. Le nom du cas/combinaison de charge est indiqué au-dessus du dessin.

Fenêtre d'information

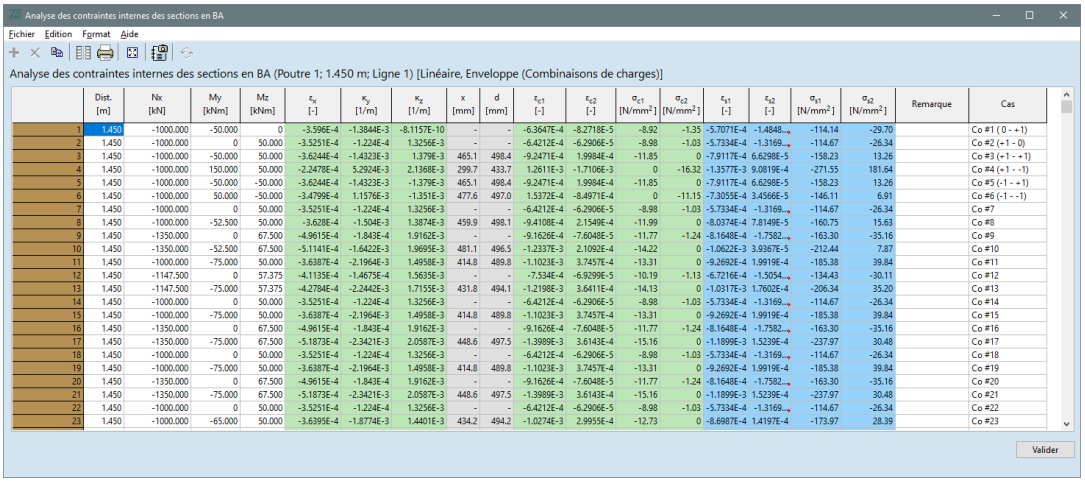
f_{se}	- coefficient des forces sismiques
N_x	- force axiale
M_y	- moment de flexion
M_z	- moment de flexion
N_x	- force axiale (intégrée)
M_y	- moment de flexion (intégré)
M_z	- moment de flexion (intégré)
δ_{Nx}	- différence entre la force axiale saisie et la force axiale intégrée
δ_{My}	- différence entre le moment de flexion axial saisi et le moment de flexion intégré
δ_{Mz}	- différence entre le moment de flexion axial saisi et le moment de flexion intégré
ε	- la déformation au niveau du centroïde
κy	- courbure (axe des *y)*
κz	- courbure (axe *z)*
x	- hauteur de la zone de compression
d	- hauteur effective



Tableaux de résultats



En cliquant sur le bouton "Tableaux", un tableau de résultats s'ouvre avec les résultats détaillés de l'analyse de la contrainte et de la déformation.





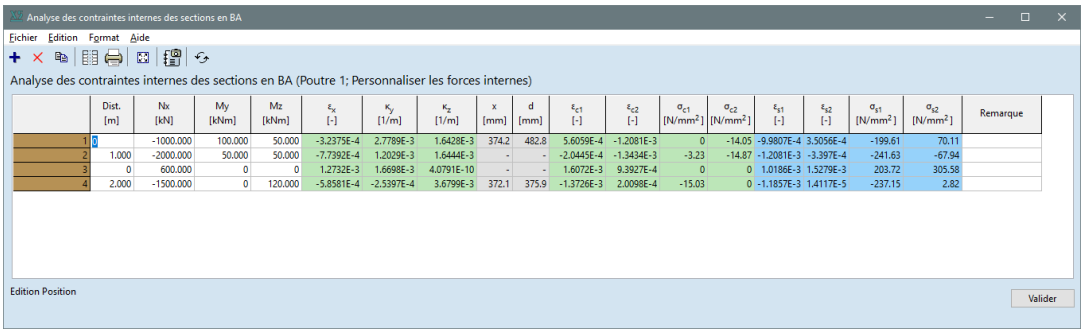
Les forces internes personnalisées peuvent être indiquées dans le tableau des résultats ouvert en cliquant sur cette icône à gauche (voir... *2.9 Navigateur de tableau*). Les résultats de l'analyse de contrainte/déformation pour les forces internes personnalisées ne sont disponibles que dans ce tableau de résultats.



Nouvelle ligne

Supprimer des lignes

Recalcul



6.5.16.5. Analyse contrainte-déformation des éléments surfaciques

Analyse contrainte-déformation

Dans le cas des éléments surfaciques, les principes de base de l'analyse et du fonctionnement sont similaires à ceux décrits dans les sections précédentes sur les éléments de poutres et de poteaux. Seules les principales caractéristiques et différences sont détaillées ci-dessous.

Type d'éléments surfaciques

Les types de dalles suivants peuvent être analysés avec le module :

Dalle normale (pleine)
Dalle nervurée
Dalle nervurée composite
Dalle avec matrice de rigidité personnalisée

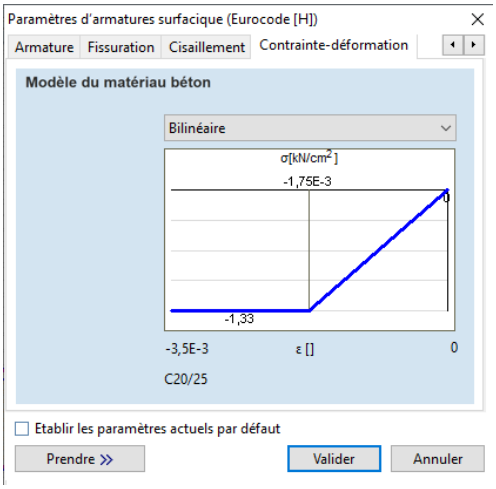
☞ **Les dalles à tablier métallique trapézoïdal, les dalles de type Airdeck et les dalles à noyau creux ne peuvent pas être analysées avec le module.**

Le module ne peut effectuer l'analyse que pour les dalles qui ont une armature appliquée, et l'armature est définie localement dans la direction x-y de l'armature. Les dalles avec des directions de renforcement personnalisées ne peuvent pas être vérifiées.

Paramètres

Le modèle de matériau béton appliqué peut être défini dans l'onglet Contrainte-déformation de la fenêtre Paramètres d'armatures de surface. Les modèles automatiques (non personnalisés) utilisent les paramètres du béton définis dans l'onglet Matériaux.

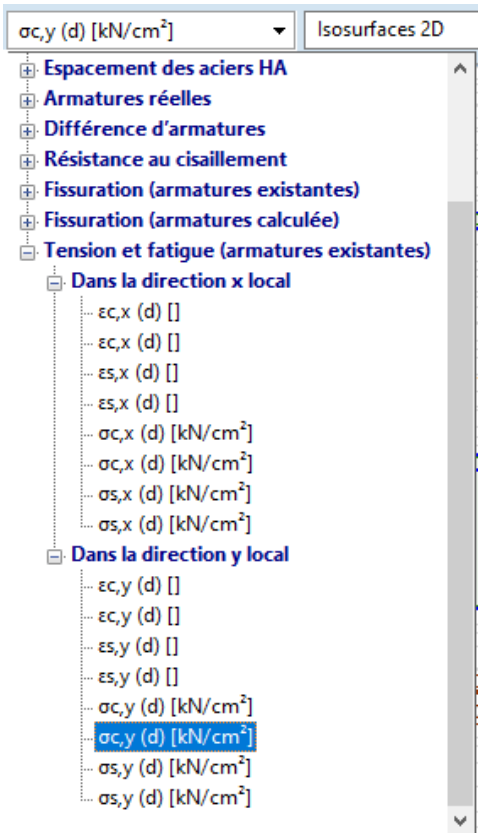
Pour plus de détails sur les modèles de matériau béton disponibles, voir... *6.5.16.2 Analyse des paramètres Contraintes - Déformation*



Composantes de résultat

Les composants de résultat disponibles de l'analyse contrainte-déformation sont répertoriés dans le groupe de composants Contrainte et déformation (Armatures réelles). Les résultats sont calculés pour le projet réel, visible ou pour des parties de la fenêtre principale. En raison de l'itération requise, le calcul peut prendre un temps considérable, dépendant fortement du nombre d'éléments finis appliqués. Le partitionnement du projet peut aider.

Ces composants de résultat ne sont disponibles que si le projet contient un élément surfacique renforcé sur lequel le module peut effectuer l'analyse et si l'élément a un armature réelle définie.



Les composantes de résultat suivantes sont disponibles dans les directions x et y locales :

Déformation

εc (b)	Contrainte dans le béton au bas de la section
εc (t)	Déformation du béton en haut de la section
εs (b)	Déformation appliquée au niveau du centre de gravité de l'armature inférieure
εs (t)	Déformation appliquée au centre de gravité de l'armature supérieure

Contrainte

σc (b)	Contrainte dans le béton en bas de la section
σc (t)	Contrainte dans le béton au sommet de la section
σs (b)	Contrainte appliquée au centre de gravité de l'armature inférieure
σs (t)	Contrainte appliquée au centre de gravité de l'armature supérieure

Les résultats peuvent être affichés sur l'élément de surface ou un segment de section avec les modes de représentation habituels.

Tableaux de résultats



Les résultats des éléments surfaciques et des segments de section sont résumés dans les tableaux de résultats.

6.6. Étude acier



6.6.1. Étude des poutres en acier selon l'Eurocode 3 - module SD1

EUROCODE 3

Le module d'étude des poutres en acier peut être appliqué aux formes suivantes:

Profilés en I laminés	Profilés en T
Profilés en I soudés	Profilés rectangulaires (plein)
Profilés en boîtes	Profilés circulaire (plein)
Profilés en tuyaux	Profilés arbitraires, certains contrôles ne sont pas effectués
Profilés en I à symétrie simple	

Parmi les éléments de la section transversale de classe 4, ce module permet de concevoir des sections transversales en forme de I, de T, à simple et double symétrie, rectangulaire et en forme de boîte. Les propriétés effectives de la section transversale sont calculées dans les cas de compression uniforme et de flexion uniforme. Ces propriétés peuvent être trouvées dans le *navigateur de tableaux* sous *Étude acier,* dans le tableau *Résistances d'étude,* ou dans la fenêtre pop-up après avoir cliqué sur l'élément :

A_{eff} Surface de la section transversale efficace lorsqu'elle est soumise à une compression uniforme

$e_{N,y}$ Décalage de l'axe neutre y lorsque la section transversale est soumise à une compression uniforme (sera nul si la section transversale est symétrique à l'axe y). Un décalage négatif entraînera un moment négatif $\Delta My = \mathrm{N} \cdot \mathrm{e}_{\mathrm{N,y}}$ dans la section transversale réelle.

$W_{eff,min}$ Module de section transversale élastique (correspondant à la fibre ayant la contrainte élastique maximale) de la section transversale efficace lorsqu'elle est soumise à un moment seulement autour de l'axe concerné.

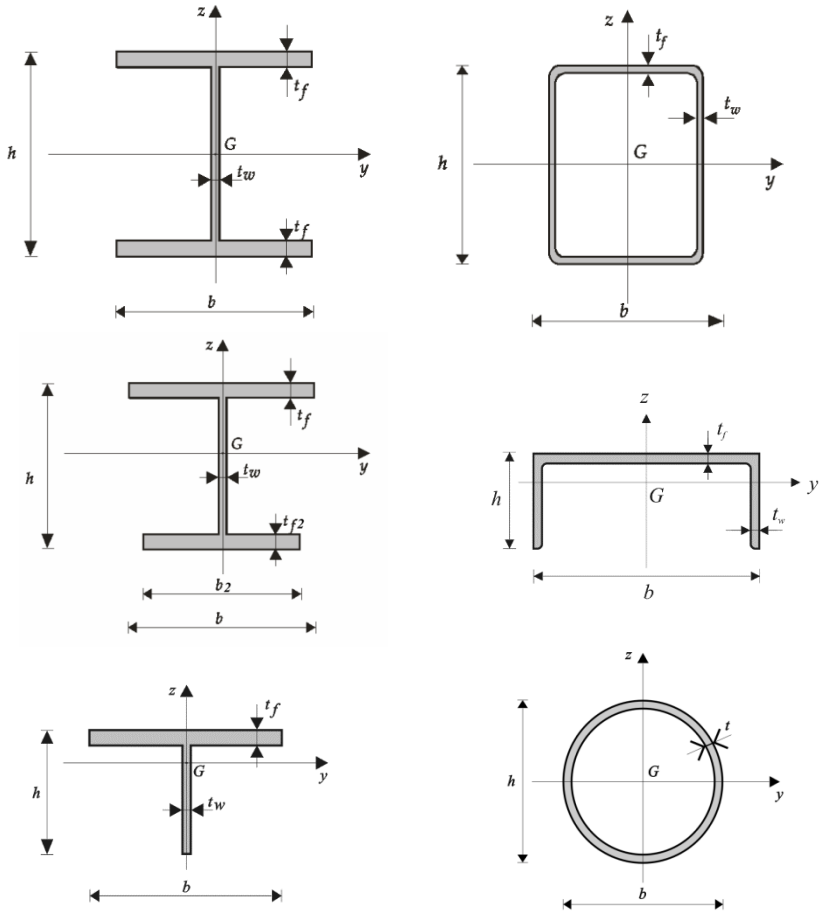
$W_{eff,(-),min}$ Fait référence aux sections transversales où le moment est négatif

$W_{eff,(+),min}$ Fait référence à ceux où le moment est positif

Il est important de savoir que ces propriétés de section transversale ne sont calculées que lorsque la section transversale est en classe 4. Il peut arriver qu'il n'y ait pas de contrainte causant le flambement de la plaque, mais les propriétés seront toujours disponibles dans le *gestionnaire de tableaux*. Les éléments non uniformes (sections transversales variables) de la classe 4 ne sont calculés que si α des panneaux non rectangulaires n'est pas supérieurs à 10 degrés (EN 1993-1-5: 2.3).

On suppose que les sections transversales ne sont pas percées et qu'elles sont constituées de plaques d'une épaisseur inférieure ou égale à 40 mm.
La section transversale doit être constante ou en biseau. On suppose également que les charges sur les sections transversales à symétrie simple agissent dans le plan de symétrie, c'est-à-dire le plan de flexion. Pour les formes générales sans plan de symétrie, on vérifie seulement la *force axiale - flexion - cisaillement (N-M-V)* et la *compression - flexion - flambement (N-M - flambement).*

☞ **AxisVM n'effectue que les contrôles énumérés ci-dessous. Tous les autres contrôles spécifiés dans le code d'étude comme la torsion contrainte, les forces d'appui, les jonctions, etc. doivent être effectués par l'utilisateur.**
Les axes principaux d'une section transversale arbitraire doivent coïncider avec les axes locaux y et z.



Classification de la section transversale

Le programme effectue la classification de la section transversale sur la base de la norme EN 1993-1-1, tableau 5.2. Dans la mesure du possible, il détermine la classe sur la base de la distribution réelle des contraintes de compression et de flexion combinées. Cette classification est basée sur la section transversale présentant la contrainte de compression maximale. S'il n'y a pas de compression en un point quelconque de la section transversale, elle est automatiquement classée en classe 1. Dans les combinaisons enveloppantes et critiques, la classification est effectuée en fonction des forces internes de la combinaison. Le programme calcule de manière conservatrice avec une section transversale entièrement comprimée pour la flexion biaxiale de sections rectangulaires symétriques ou doublement symétriques en I, T, C ou fermées lors de la vérification des critères pour la classe 1 et la classe 2. En cas de flexion uniaxiale pure ou comprimée, il détermine l'emplacement de l'axe neutre plastique et effectue le calcul sur la base de la distribution des contraintes plastiques.

Vérifications

Force axiale - flexion – Effort tranchant [N-M-V].	(EN 1993-1-1, 6.2.1, 6.2.8)
Compression-Flexion-Flambement (flexion dans le plan ou torsion) [N-M-Flamb.]	(EN 1993-1-1, 6.3.3)
Force axiale - flexion - Flambement torsions latérales. [N-M- FlambTL.]	(EN 1993-1-1, 6.3.3)
Effort tranchant /y [Vy]	(EN 1993-1-1, 6.2.6)
Effort tranchant /z [Vz]	(EN 1993-1-1, 6.2.6)
Force axiale de cisaillement de l'âme [Vw-M-N]	(EN 1993-1-1, 6.2.1, 6.2.8)

Résistances

Résistance du plastique (axiale) [$N_{pl,Rd}$]	(EN 1993-1-1, 6.2.4)
Résistance efficace (lorsqu'elle est soumise à une compression uniforme) [$N_{eff,Rd}$]	(EN 1993-1-1, 6.2.4)
Résistance élastique à l'effort tranchant / axe y [$V_{el,y,Rd}$]	(EN 1993-1-1, 6.2.6)
Résistance élastique à l'effort tranchant / axe z [$V_{el,z,Rd}$]	(EN 1993-1-1, 6.2.6)
Résistance plastique à l'effort tranchant / axe y [$V_{pl,y,Rd}$]	(EN 1993-1-1, 6.2.6)
Résistance plastique à l'effort tranchant / axe z [$V_{pl,z,Rd}$	(EN 1993-1-1, 6.2.6)
Flambement de l'âme à l'effort tranchant [$V_{b,Rd}$].	(EN 1993-1-5, 5.2-3)
Moment Résistant élastique /yy [$M_{el,y,Rd}$]	(EN 1993-1-1, 6.2.5)
Moment Résistant élastique /zz [$M_{el,z,Rd}$]	(EN 1993-1-1, 6.2.5)
Moment Résistant plastique /yy [$M_{pl,y,Rd}$]	(EN 1993-1-1, 6.2.5)
Moment Résistant plastique /zz [$M_{pl,z,Rd}$]	(EN 1993-1-1, 6.2.5)

Moment résistant pour une section transversal efficace soumise à une flexion autour de l'axe y [$M_{pl,y,Rd}$]. (EN 1993-1-1, 6.2.5)

Moment résistant pour une section transversale effective soumise à une flexion autour de l'axe z [$M_{pl,z,Rd}$] (EN 1993-1-1, 6.2.5)

Résistance minimale au flambement (flexion dans le plan ou torsion) [$N_{b,Rd}$] (EN 1993-1-1, 6.3.1)

Résistance au flambement latéral Torsionel [$M_{b,Rd}$] (EN 1993-1-1, 6.3.2, ENV 1993-1-1, Annexe F1.2)

Ces informations sont données par le programme en tant que résultats auxiliaires. Les contrôles sont principalement définis par des formules d'interaction. La définition et les conditions détaillées de l'application des variables contenues par les équations se trouvent dans le code d'étude.

Dans ce qui suit, $N_{Rk} = f_y A$; $M_{y,Rk} = f_y W_y$ et $M_{z,Rk} = f_y W_z$
où $W_y = W_{pl,y}$ et $W_z = W_{pl,z}$ pour les sections transversales de classe 1 ou 2,
$W_y = W_{el,y}$ et $W_z = W_{el,z}$ pour les sections transversales de classe 3 et
$W_y = W_{eff,y}$ et $W_z = W_{eff,z}$ pour les sections transversales de classe 4.

Force axiale - flexion - cisaillement

La membrure peut être en traction ou en compression. Le contrôle est effectué sur la base EN 1993-1-1, 6.2.1 (7).

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rk}/\gamma_{M_0}} + \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}/\gamma_{M_0}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}/\gamma_{M_0}} \leq 1$$

$\Delta M_{y,Ed} = N_{Ed} \cdot e_{N,y}$: Elle ne diffère de zéro que lorsque la section transversale est de classe 4 et que la section transversale d'origine est asymétrique par rapport à l'axe *y*.

Fort cisaillement

Si la force de cisaillement est supérieure à 50% de la résistance au cisaillement, l'effet de la force de cisaillement est considéré comme détaillé ci-dessous.

Pour les classes de section transversale 1. et 2. on tient compte du moment de résistance selon la norme EN 1993-1-1, 6.2.8.

Pour les classes de section transversale 3. et 4. les contraintes sont calculées et la formule générale et conservatrice de la norme EN 1993-1-1, 6.2.1 (5) est appliquée. Ceci est fait pour les types de sections transversales : I, T, C, boîte et tuyau. Pour les autres types de profilés (forme en L, formes rectangulaires et rondes vendues, et formes définies par l'utilisateur), l'effet d'un fort cisaillement doit être calculé par l'utilisateur.

Contrôle de la résistance plastique

Pour les sections transversales en forme de I, de tube et de boîte des classes de section transversale 1. et 2., le contrôle de résistance est effectué conformément à la norme EN 1993-1-1 6.2.10. On tient compte de l'effet de la force de cisaillement et de la force axiale sur le moment de résistance. Outre le contrôle de la résistance de la force axiale pure et de la force de cisaillement pure, les critères suivants doivent être satisfaits :

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \leq 1; \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \leq 1$$

où $M_{N,y,Rd}, M_{N,z,Rd}$ sont des moments résistants réduits basés sur l'effet de la force de cisaillement et de la force axiale (EN 1993-1-1 6.2.8. et 6.2.9.1). Pour les sections transversales de tube, le moment réduit est calculé comme suit:

$$M_{N,y,Rd} = 1.04 \cdot \left(1 - \rho - \frac{n^{1.7}}{(1-\rho)^{0.7}}\right);\ n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}};\ \rho = \left(2\frac{V_{Ed}}{V_{pl,z,Rd}} - 1\right)^2$$

$$M_{N,z,Rd} = 1.04 \cdot \left(1 - \rho - \frac{n^{1.7}}{(1-\rho)^{0.7}}\right);\ n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}};\ \rho = \left(2\frac{V_{Ed}}{V_{pl,y,Rd}} - 1\right)^2$$

Pour la flexion bi-axiale, le critère de la norme EN 1993-1-1 6.2.9.1. (6) doit être satisfait :

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}\right]^{\alpha} + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}\right]^{\beta} \leq 1$$

Pour les poutres à 7 DDL avec des sections en I ou en C symétriques ou doublement symétriques, un autre terme représentant l'effet de la flexion des ailes (bi moment) due au gauchissement est ajouté à ces formules [46 ; 3.1.1 et 3.1.2] : $\frac{N_{Ed}}{N_{Rk}/\gamma_{M_0}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}/\gamma_{M_0}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}/\gamma_{M_0}} + \frac{M_{w,Ed}}{M_{f,Rk}/\gamma_{M_0}} \leq 1$

$$\frac{M_{w,Ed}}{M_{N,f,Rd}} \leq 1$$

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}\right]^{\alpha} + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} + \frac{M_{w,Ed}}{M_{N,f,Rd}}\right]^{\beta} \leq 1$$

Où $M_{f,Rk}$ and $M_{N,f,Rd}$ est le moment de résistance de la bride la plus faible., $M_{w,Ed}$ est un moment de flexion supplémentaire sur les ailes dû au $bi\ moment$: B_{Ed}

$$M_{w,Ed} = \frac{B_{Ed}}{h - \frac{t_f}{2} - \frac{t_{f_2}}{2}}$$

Compression-Fléchissement-Flambement

Le contrôle est basé sur les normes EN 1993-1-1, 6.3.3 (6.61) et (6.62):

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}/\gamma_{M_1}} + k_{yy}\frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}/\gamma_{M_1}} + k_{yz}\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}/\gamma_{M_1}} \leq 1$$
$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}/\gamma_{M_1}} + k_{zy}\frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}/\gamma_{M_1}} + k_{zz}\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}/\gamma_{M_1}} \leq 1$$

$$(\chi_{LT} = 1.0)$$

$\Delta M_{y,Ed} = N_{Ed} \cdot e_{N,y}$ ne diffère de zéro que lorsque la section transversale est de classe 4 et que la section transversale d'origine est asymétrique par rapport à l'axe y.

Force axiale - flexion - torsion latérale - flambement

Pour déterminer la résistance au flambement en torsion latérale, on suppose que la section transversale est constante et symétrique par rapport à l'axe *z* local. Il est également supposé que les charges agissent dans le plan de symétrie, c'est-à-dire le plan de flexion (sauf pour les sections transversales C/U, voir ci-dessous). La valeur de *k* (ENV 1993-1-1, F1.2) est prise égale à K_z (facteur de longueur de flambement). L'axe faible doit être l'axe z local.

Le contrôle est basé sur la forme des équations (6.61) et (6.62) de la norme EN 1993-1-1, 6.3.3:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}/\gamma_{M_1}} + k_{yy}\frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}/\gamma_{M_1}} + k_{yz}\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}/\gamma_{M_1}} \leq 1$$
$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}/\gamma_{M_1}} + k_{zy}\frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}/\gamma_{M_1}} + k_{zz}\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}/\gamma_{M_1}} \leq 1$$

$\Delta M_{y,Ed} = N_{Ed} \cdot e_{N,y}$Elle ne diffère de zéro que lorsque la section transversale est de classe 4 et que la section transversale d'origine est asymétrique par rapport à l'axe y.

χ_{LT} Est calculé selon la norme EN 1993-1-1 6.3.2.2 ou 6.3.2.3.
Par défaut, la détermination des facteurs d'interaction $k_{yy}, k_{yz}, k_{zy}, k_{zz}$ sont basés sur la norme EN 1993-1-1, annexe B, méthode 2 (tableaux B.1 et B.2). L'exploitation de la méthode 1 de l'annexe A peut être définie dans la fenêtre Standard.
Les facteurs de moment uniforme équivalents C_{mon}, C_{mz}, C_{mLT} sont énumérés dans le tableau B.3.

- La section du diagramme de moment entre les points d'appui est choisie en fonction de la longueur de flambement.
- Si *K*>1, le diagramme des moments doit être pris en compte pour une section qui est plus longue que l'élément, le programme utilise donc la valeur la plus conservatrice $C_{mz} = 1$.
- Si $0.5 < K \leq 1$, the program uses the moment diagram of the design member.
- Si $K < 0.5$, on suppose qu'il existe au moins un appui intermédiaire. Dans ce cas, le programme prend en compte une section du diagramme des moments autour du minimum et du maximum. La longueur de cette section est la longueur de flambement. La plus grande de ces deux valeurs sera le facteur de moment.
- Si $K = 0.5$, le C_m le plus élevé obtenu à partir des deux méthodes précédentes est utilisé.

Pour la force axiale de traction, le contrôle est effectué en utilisant les moments efficaces basés sur la norme ENV 1993-1-1, 5.5.3.

Le contrôle de la torsion latérale des poutres à section transversale en U ou en C est basé sur la méthode de Snijder et al. (*Règles de conception pour le flambement latéral par torsion des profilés en C, U, I ou T soumis à une charge sur l'âme* Stahlbau, Vol. 77, 2008). La méthode suppose que la charge excentrée est parallèle à l'âme et agit dans le plan de l'âme. La méthode a été dérivée pour des poutres à section transversale UPE dans lesquelles le rapport portée/hauteur est compris entre 15 et 40.

La formule d'interaction de la stabilité est valable pour les poutres qui ont un axe de symétrie dans leur plan de flexion. Pour les sections transversales C et U, les résultats sont uniquement informatifs.

☞ **Par rapport aux versions précédentes du logiciel, le flambement latéral en torsion des poutres de section transversale C ou U n'est plus vérifié dans le plan de symétrie, mais il est vérifié pour une charge excentrée qui est parallèle à l'âme, et qui passe par le centre de l'âme.**

Pour les poutres 7DDL à section symétrique ou doublement symétrique en I ou C, la formule d'interaction inclut l'effet de la flexion des ailes (bimoment) due au gauchissement selon la formule A.1 de l'annexe A de la norme EN 1993-6 [47, 46 ; 3.2] :

$$\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}/\gamma_{M_1}} + C_{mz}\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}/\gamma_{M_1}} + k_{wLT}\,k_{zwLT}\,k_{\alpha LT}\frac{M_{w,Ed}}{M_{f,Rk}/\gamma_{M_1}} \leq 1$$

Cisaillement /y

Le contrôle est effectué sur la base de la norme EN 1993-1-1, 6.2.6.

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{c,y,Rd}} \leq 1$$

Sections transversales élastiques :

$$V_{c,y,Rd} = \frac{I \cdot t}{S}\frac{f_y}{\sqrt{3}\gamma_{M_0}}$$

Sections transversales supportées : 

Sections transversales en plastique ou non supportées :

$$V_{c,y,Rd} = A_v\frac{f_y}{\sqrt{3}\gamma_{M_0}}$$

Cisaillement /z

Le contrôle est effectué sur la base de la norme EN 1993-1-1, 6.2.6.

$$\frac{V_{zEd}}{\min(V_{czRd}, V_{bRd})} \leq 1$$

$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd}$: La résistance est calculée avec la contribution de l'âme, mais pas des ailes.

Sections transversales élastiques :

$$V_{c,z,Rd} = \frac{I \cdot t}{S}\frac{f_y}{\sqrt{3}\gamma_{M_0}}$$

Sections transversales supportées : 

Sections transversales plastiques ou non supportées :

$$V_{c,z,Rd} = A_v\frac{f_y}{\sqrt{3}\gamma_{M_0}}$$

Cisaillement de l'âme - Force axiale

Le contrôle est effectué pour les sections transversales avec âme (sections transversales I et boîtes) sur la base des normes EN 1993-1-5 7.1, 6.2.8, 6.2.9 en supposant que l'âme est parallèle à l'axe z local.

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} + \left(1 - \frac{M_{fRd}}{M_{pl,Rd}}\right)\cdot\left(2\frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} - 1\right)^2 \leq 1$$

En cas de force de cisaillement élevée ou de force axiale élevée, les formules 6.2.8 et 6.2.9 de la norme EN 1993-1-1 sont appliquées.

Types de sections transversales de base

Type de section transversale		*N-M-V Contrainte*	*N-M-flambement*	*N-M-LT flambement*	*Effort Tranchant Vy*	*Effort Tranchant Vz*	*flambement Par cisaillement*	*section transversale efficace*
I		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
I Simple symétrique		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
T		✓	✓	✓	✓	✓	—	✓
Boîte		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Boîte soudée		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tuyau		✓	✓	✓	✓	✓	—	—
Cornière		✓	✓	—	✓	✓	—	—
Cornière à ailes égales		✓	✓	*si la flexion agit dans le plan de symétrie Mcr est nécessaire*	✓	✓	—	—
U		✓	✓	*Approximatif*	✓	✓	—	—
C		✓	✓	*Approximatif*	✓	✓	—	—
Rond		✓	✓	✓	✓	✓	—	—
Rectangulaire		✓	✓	✓	✓	✓	—	—

Double section transversale [(*)]

Type de section transversale		*N-M-V Contrainte*	*N-M-flambement*	*N-M-LT flambement*	*Effort Tranchant Vy*	*Effort Tranchant Vz*	*Flambement Par cisaillement*	*Section transversale Efficace*
2I		✓	✓	—	✓	✓	—	—
2I si a=0 boîte soudée →		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2 cornières		✓	✓	—	✓	✓	—	—
2 cornières si a=0 T →		✓	✓	✓	✓	✓	—	✓
2U ouvert][		✓	✓	—	✓	✓	—	—
2U ouvert][si a=0 I →		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2U fermé []		✓	✓	—	✓	✓	—	—
2U fermé [] si a=0 Boîte →		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2LX		✓	✓	—	✓	✓	—	—
4X		✓	✓	—	✓	✓	—	—
4X si a=0 X →		✓	✓	—	✓	✓	—	—

Autres types de sections transversales

Type de section transversale		*N-M-V Contrainte*	*N-M-flambement*	*N-M-LT flambement*	*Effort Tranchant Vy*	*Effort Tranchant Vz*	*Flambement Par cisaillement*	*Section transversale Efficace*
Z		✓	✓	—	✓	✓	-	-
J		—						
Asymétrique C		—						
Asymétrique Z		—						
S		—						
X		✓	✓	✓	✓	✓	—	—
Arc		✓	✓	—	✓	✓	—	—
Demi-cercle		✓	✓	—	✓	✓	—	—
forme polygonale regulière		✓	✓	—	✓	✓	—	—
I double (***)		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
I triple (***)		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Complexe/ Autre (**)		✓	✓	—	✓	✓	—	—

(*) Pour les types à double section transversale, on suppose que la connexion entre les deux éléments est continue (EN 1993-1-1 6.4.4: éléments bâtis très rapprochés), et le contrôle du flambement est effectué en conséquence. Si la distance entre les deux sections transversales est nulle, le programme supposera que la connexion entre les éléments est continue et remplacera les deux par une section transversale (I, T, X ou boîte). La connexion doit être calculée par l'utilisateur.

(**) Ces sections transversales ne sont conçues que si les coordonnées locales sont les mêmes que les directions principales.

(***) Calculer avec la hauteur totale de la section transversale, l'effet de raidissement des ailes centrales est négligé.

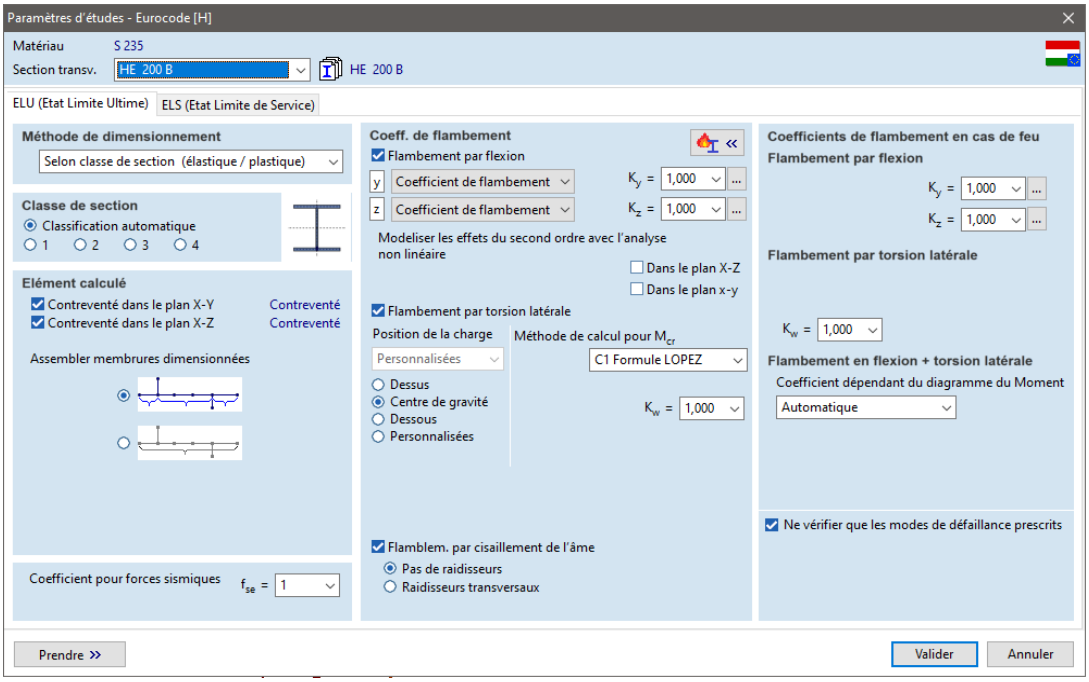
☞ **Si le procédé de fabrication du profilé est formé à froid ou autre, l'élément n'est pas dimensionné.**

6.6.1.1. Paramètres d'étude en ELU



Pour l'étude basée sur l'Eurocode 3, les paramètres d'étude suivants doivent être définis et attribués aux éléments structuraux pour effectuer les contrôles ELU:

ELU
(État limite ultime)



Section transversale

Pour le dimensionnement en acier, il est possible de définir une taille de section transversale différente de la *section transversale originale* utilisée pour le calcul statique. Si la taille de la section transversale est modifiée, les vérifications pour le dimensionnement en acier seront effectuées pour les forces internes d'origine, mais avec la taille modifiée de la section transversale. De même, pour l'étude au feu, les facteurs de réduction d'origine pour le feu sont utilisés (voir... *6.6.2 Étude au feu de poutres en acier selon l'Eurocode 3 - module SD8*). Lors de la visualisation des résultats, l'assemblage d'éléments en acier modifié est indiqué par un * après le nom de la section transversale, pour le distinguer de la section transversale d'origine. Dans le menu déroulant, nous pouvons sélectionner les dimensions de la section transversale, qui ont été chargées précédemment dans le projet.



Cliquer sur cette icône nous permettra de charger d'autres sections transversales de la bibliothèque des sections transversales ou de définir une forme paramétrique. Sur le côté droit de cette icône, on peut voir les tailles originales des sections transversales.



En cliquant sur l'icône Remplacer les sections transversales, vous mettez à jour la section transversale réelle des éléments sélectionnés en fonction de la section transversale saisie dans la boîte de dialogue Paramètres de conception.

Approche d'étude

Par classe de section transversale (élastique/plastique): les méthodes d'étude élastique et plastique sont toutes deux autorisées, selon la classe de section transversale de l'élément de structure.

Étude élastique : tous les contrôles utilisent des méthodes d'étude élastique. Les résistances sont calculées à partir des propriétés élastiques de la section transversale ; dans la classe 4, les propriétés de la section transversale effective sont utilisées.

Classe de section transversale

La classification automatique classe la section transversale en fonction des valeurs réelles des contraintes.

Renfort d'assemblage d'éléments

Si l'assemblage d'élément possède un mode de flambement de l'ossature en balancement dans le plan local *x-y* ou *x-z,* le contreventement correspondant doit être désactivé. Ces paramètres affectent le calcul automatique du flambement en flexion (AutoNcr) et, en cas de flambement en torsion latérale, les appuis latéraux pour la méthode AutoMcr. En outre, ils affectent les facteurs de moment uniforme équivalent *Cmy* et *Cmz du* contrôle de l'interaction de stabilité (EN 1993-1-1: 2005 Annexe B: Méthode 2: Tableau B.3).

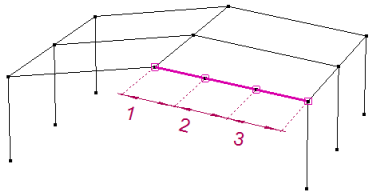
Création des assemblages d'éléments

Le programme créé des assemblages d'éléments à partir des éléments sélectionnés avant d'effectuer les calculs d'étude. Les assemblages d'éléments sont constitués d'éléments finis avec le même matériau, le même type (ferme, poutre ou nervure) et l'orientation du système local. Les assemblages d'éléments doivent avoir une section transversale et une excentricité constante ou variant de façon linéaire tout au long de l'élément. Les éléments finis doivent être sur la même ligne.

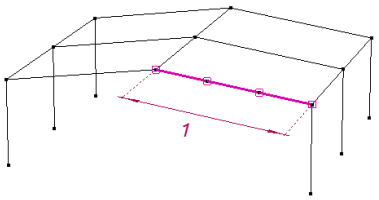
☞ ***Les assemblages d'éléments en acier ne sont pas les mêmes que les éléments de structure*** (voir... **3.2.14. Assembler éléments**)

Le programme prévoit deux méthodes pour définir les assemblages d'éléments comme suit:

Tout nœud d'un ensemble de sélection d'éléments finis où un autre élément fini qui est connecté deviendra un point final d'un assemblage d'éléments dans l'ensemble de sélection d'éléments finis.



Les éléments finis de l'ensemble de sélection deviennent un seul assemblage d'éléments, indépendamment des autres éléments finis qui se connectent à ses nœuds.



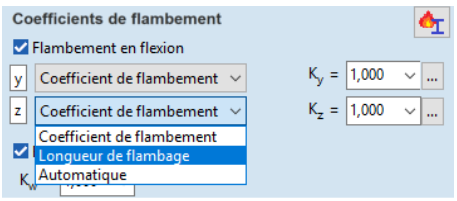
Facteur pour les forces sismiques voir... *4.10.24. Charges sismiques - module SE1*.

Paramètres de stabilité

AxisVM effectue des contrôles contre le flambement, le flambement en torsion latérale et le flambement par cisaillement de l'âme. Chaque contrôle peut être activé séparément en cliquant sur la case à cocher précédant son nom. Par exemple, s'il est certain qu'il n'est pas nécessaire de vérifier le flambement latéral par torsion, cette partie de la vérification peut être désactivée et aucun paramètre ne doit être spécifié.

Flambement (flexion)

Pour déterminer la résistance au flambement K_y et du K_z autour des axes *y et z* (dans le plan local *x-z* et *y-z*), il faut définir les conditions d'appui aux extrémités.
Il existe trois façons de spécifier le comportement de flambement.



Facteurs de flambement K_y, K_z (facteurs de longueur efficace). Le facteur de flambement sera multiplié par la longueur des assemblages d'éléments et non par la longueur totale des éléments sélectionnés. Notez que les éléments de liaison peuvent entraîner la séparation d'un élément sélectionné en plusieurs assemblages d'éléments (voir *Créer des assemblages d'éléments* ci-dessus) !

L_y, L_z *longueurs de flambement.* La longueur de flambement saisie sera utilisée quelle que soit la longueur de l'assemblage d'éléments. Cela permet souvent d'obtenir une étude plus simple dans le cas de structures complexes.

Auto. La longueur de flambement des assemblages d'éléments est calculée automatiquement. La méthode dite AutoNcr détermine la longueur de flambement en fonction de la géométrie du projet et de la répartition des forces internes dans le projet. La longueur de flambement de chaque assemblage d'éléments est calculée après avoir pris en compte l'effet stabilisateur des autres éléments connectés. Cette méthode est basée sur les règles recommandées par la *Convention européenne de la construction métallique (ECCS TC8: Règles pour la stabilité des membrures dans EN 1993-1-1: Documentation de base et directives de conception)*

La méthode originale a été développée pour les poteaux verticaux d'ossatures simples. L'-algorithme amélioré d'AxisVM peut traiter n'importe quelle structure tridimensionnelle, mais pour des géométries spéciales, l'erreur peut être considérable. Dans de tels cas, il est recommandé de vérifier si les valeurs de longueur de flambement calculées se situent dans la plage attendue. Pour les structures complexes, il est également conseillé de déterminer le paramètre de charge critique en résolvant un problème de valeur propre (voir... *6.2 Flambement*), ou d'effectuer une analyse non linéaire avec non-linéarité des matériaux et imperfection géométrique.

La longueur de flambement dépend fortement du mode de flambement de l'assemblage d'éléments. Cochez les cases *Renforcé dans le plan local x-y / x-z en fonction de* la sensibilité de l'élément aux effets du second ordre. Il est important de reconnaître, par exemple, que les poteaux d'un portique se déforment généralement en mode de balancement dans le plan, alors que sa poutre ne se déforme pas (parce que les deux extrémités sont supportées par les poteaux).

AxisVM prend en compte l'effet de tous les éléments de la poutre (y compris les poutres en acier sans paramètres d'étude définis ou les poutres non en acier). Selon une hypothèse prudente, tous les

poteaux sont considérés comme étant en mode oscillant alors que toutes les poutres sont en mode non oscillant par défaut.

L'algorithme prend en compte les rotules, les connexions rigides et semi-rigides. Les connexions non linéaires sont représentées par leur rigidité initiale. Les appuis nodaux et les degrés de liberté nodaux contraints sont également pris en compte. En raison des degrés de liberté nodaux contraints, les structures planes peuvent présenter une très faible longueur de flambement pour un flambement hors plan. Ce n'est pas une erreur mais la conséquence du mouvement contraint aux extrémités des éléments finis. Pour les structures planes, il est recommandé de spécifier la longueur de flambement pour le flambement hors plan ou de modéliser les appuis réels au lieu des DDL nodaux contraints.

La longueur de flambement des assemblages d'éléments est fortement affectée par la répartition des forces internes. Comme ces forces sont différentes dans chaque cas de charge et combinaison, la longueur de flambement calculée dépend également du cas de charge ou de la combinaison choisie ! La vitesse de calcul peut être augmentée lors de la phase d'étude en négligeant l'influence de la répartition des forces internes ; pour ce faire, décochez la case *Prendre en compte N* dans la boîte de dialogue *Paramètres d'étude*. Lorsque les forces internes ne sont pas prises en compte, le paramètre d'étude considéré est supposé avoir une répartition normale uniforme des forces, tandis que les autres éléments sont supposés non chargés.

Limitations

Cette méthode de calcul de la longueur de flambement permet de déterminer le paramètre de charge critique uniquement pour les structures constituées de fermes, de poutres ou de nervures. Les assemblages d'éléments sont considérés comme ayant individuellement une section transversale constante. La méthode de calcul n'est pas encore disponible pour les poutres biseautées. Les effets d'autres types d'éléments structuraux (par exemple, plaques, ressorts, corps rigides, appuis linéaire ou surfacique) sont ignorés. Seuls les appuis nodaux sont pris en compte ; l'influence des appuis linéaires et surfacique n'est pas prise en compte.

Des informations supplémentaires sur l'outil de calcul automatique du coefficient de flambement par flexion sont disponibles dans le menu *Aide / Guide AutoNcr*.

Si l'onglet *Étude acier* est sélectionné, les facteurs de longueur de flambement *Ky* ou *Kz* calculés peuvent être affichés en sélectionnant *Ky* ou *Kz* comme composant de résultat dans le groupe *Résistances*.

Modéliser les effets de second ordre avec l'analyse non linéaire

Si les charges internes contiennent déjà l'influence d'effets du second ordre (nous avons donc défini une géométrie imparfaite ou des charges imparfaites dans le cas d'une analyse géométrique non linéaire), il suffit de modifier la résistance de la section transversale. Si cette option est cochée, l'analyse du flambement s'effectue avec les valeurs $\chi_x = \chi_y = 1$

Flambement des membrures étudiées

Flambement des membrures étudiées (Eurocode) [Linéaire, Co #1 (ELU), (acr = 5.085)]

Elément calculé	Longueur [m]	N_{min} [kN]	N_{cr} [kN]	$L_{y,cr}$ [m]	$L_{z,cr}$ [m]	$K_{y,cr}$	$K_{z,cr}$	λ
1 (1–2)	15.300	-500.000	2542.415	7.648	2.057	0.500	0.134	61.592
2 (3–4)	4.687	-500.000	2542.415	9.233	5.468	1.970	1.167	84.140
3 (5–6)	10.800	-500.000	2542.415	9.233	5.468	0.855	0.506	84.140
4 (7–8)	7.500	-500.000	2542.415	9.233	5.468	1.231	0.729	84.140
1 (1–2)	15.300	-500.000	2542.415	7.648	2.057	0.500	0.134	61.592

Si une analyse de flambement a été effectuée pour la structure, un résumé du flambement des assemblages d'éléments est affiché dans le *navigateur de tableaux* (par exemple, *RÉSULTATS / Analyse linéaire / Étude acier / Flambement / Cas de charge ou combinaison de charges / Mode 4*). Les résultats non linéaires ne sont disponibles que si la non-linéarité géométrique a été ignorée et que le facteur de charge final est de 1,0. Un autre tableau (*...Étude acier / Flambement / Ncr minimum)* affiche la plus petite force critique (*Ncr*) pour chaque assemblage d'éléments avec d'autres données de flambement.

Si les calculs d'étude ont échoué pour un certain élément, la cause de l'erreur (mauvaises dimensions, mauvais type, etc.) est également affichée dans la colonne *assemblage d'éléments* (tout comme dans le tableau d'*exploitation*).

La force critique est calculée à partir de la formule d'Euler

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_{cr}{}^2} = N_{min}\alpha_{cr}$$

La longueur de flambement de la poutre d'Euler équivalente est $L_{cr} = K_{cr}L$ où L est la longueur physique de l'assemblage d'éléments et Kcr est le facteur de flambement.

α_{cr}	*Paramètre de charge critique*
N_{min}	*La plus petite force normale le long de la poutre*
N_{cr}	*La force critique*
$L_{y,cr}$	*Longueur de flambement autour de l'axe y (dans la direction z)*
$L_{z,cr}$	*Longueur de flambement autour de l'axe z (dans la direction y)*
$K_{y,cr}$	*Facteur de flambement autour de l'axe des y*
$K_{z,cr}$	*Facteur de flambement autour de l'axe z*
λ	*Elancement*

Flambement latéral-par torsion

K est un facteur lié aux contraintes contre le gauchissement. Sa valeur doit être comprise entre 0,5 et 1.

- si le gauchissement n'est pas contraint, il est de 1.0.
- si le gauchissement est contraint aux deux extrémités de la poutre, il est de 0,5.
- si le gauchissement est contraint à l'une des extrémités de l'ensouple, il est de 0,7.

Voir en détail... *Annexe F1 de l'ENV 1993-1-1*.

Z_a est la position de la charge par rapport au centre de gravité (une valeur signée).

La position de la charge peut être réglée sur *Tel que définie* ou *Personnalisée* dans la liste déroulante. *Tel que définie* signifie que la position de la charge est déterminée à partir de l'excentricité d'une charge de poutre concentrée ou distribuée. Les charges nodales sont appliquées au centre de gravité de la section transversale. Si l'option *Personnalisée* est choisie, la position de la charge doit être sélectionnée parmi les options suivantes par des boutons radio : *Haut*, *Centre de gravité*, *Bas* ou *Personnalisée* (en entrant la valeur *Za*).

Sélectionnez *haut, Centre de gravité, Bas* ou *Personnalisé* et entrez la valeur de Z_a. L'analyse suppose que l'axe z local se trouve dans le plan de symétrie et que les forces provoquant le flambement en torsion latéral agissent parallèlement à cet axe.

Calcul du Mcr (moment critique)

Deux options sont disponibles pour calculer le moment critique du flambement latéral par torsion *(Mcr)*.

1.) Par formule

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 E I_z}{(kL)^2}\left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(kL)^2 G I_t}{\pi^2 E I_z} + \left(C_2 z_g - C_3 z_j\right)^2} - \left(C_2 z_g - C_3 z_j\right)\right]$$

La signification des paramètres peut être trouvée dans la littérature ou dans l'annexe F1.2 de l'ENV 1993-1-1. La valeur de C_1, C_2, C_3 Les paramètres dépendent de la forme de la courbe des moments et des facteurs *k*.

Pour entrer les valeurs des paramètres, choisissez *Personnalisé C1, C2, C3*.

Dans certains cas C_1 peut être calculée automatiquement. Choisissez la *formule C1 Lopez* depuis la liste déroulante *Méthode de calcul pour Mcr*. **Cette option n'est pas disponible** si l'élément de structure en acier est un porte-à-faux ou $K_z > 1$.

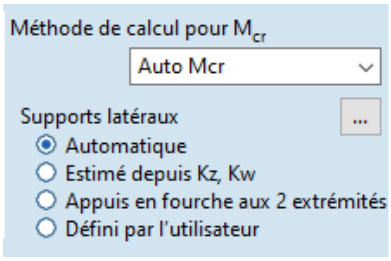
C_2 doit être saisie si des charges externes sont appliquées à l'élément de structure et que le point d'application ne coïncide pas avec le centre de cisaillement de la section transversale. Dans le cas d'une section transversale à simple symétrie C_3 sont également inscrits. C Les valeurs des paramètres peuvent être définies à l'aide de la norme ENV 1993-1-1, F1.2.

2.) La méthode AutoMcr

Cette méthode permet d'obtenir un projet à éléments finis distinct pour chaque assemblage d'éléments et de calculer directement le *Mcr pour* chaque combinaison de charge, ce qui rend C_1, C_2, C_3 inutile mais qui augmente le temps de calcul. Cette méthode traite aussi bien les sections transversales variables que les porte-à-faux. Le sous-projet en éléments finis d'une poutre contient au moins 30 éléments finis où chaque nœud a quatre degrés de liberté essentiels pour déterminer le flambement latéral en torsion : 1) v ,décalage latéral dans la direction *y* locale, 2) Θ_x torsion, 3) Θ_z rotation latérale, 4) *w,* gauchissement. Cette méthode permet de construire la rigidité de la poutre en deux parties : la première est linéaire, la seconde présente une non-linéarité géométrique.

Il applique des charges avec leur excentricité puis réduit le calcul à un problème de valeur propre. La méthode est développée pour plier des sections transversales constantes dans leur plan de symétrie, donc pour des sections transversales variables, le programme crée le nombre approprié d'éléments finis. [Voir Yvan Galea: *Moment critique de déversement élastique de poutres fléchies. Présentation du logiciel ltbeam,* CTICM, 2003]

Les appuis latéraux



AxisVM détermine automatiquement par défaut les conditions d'appui pour le sous-projet.
Les méthodes suivantes peuvent également être choisies :
Estimé à partir de kz, kw: la position des appuis est estimée de façon similaire à une version sin 12 de AxisVM ;
Des appuis en fourche aux 2 extrémités ;
Défini par l'utilisateur : l'utilisateur peut modifier/définir les appuis.
Les quatre composantes de la rigidité d'un appui latéral sont R_y, R_{xx}, R_{zz}, R_w.
Si l'option mentionnée ci-dessus a été réglée sur *Automatique*, le programme détermine les conditions d'appui comme suit :
Appui projet : basé sur les appuis le long de la poutre définis précédemment dans l'onglet *Éléments* ; les R_y, R_{xx} et R_{zz} sont directement tirées des valeurs de rigidité de l'appui, tandis que $R_w = 0$.
Éléments de connexion : les éléments linéaires et de coque directement reliés à l'élément conçu fournissent un certain appui contre le flambement latéral en torsion. Les valeurs estimées de la rigidité de l'appui sont résumées dans le *guide AutoMcr*. Voir l'*aide / le guide AutoMcr*

Limitations
Le sous-projet ne prend pas en compte l'effet des DDL nodaux.

Sans appuis adéquats, le sous-projet n'a aucune stabilité contre le flambement latéral en torsion. Pour éviter ce type d'instabilité, les conditions suivantes doivent être remplies : 1) R_y est non nulle sur au moins un point et R_y ou R_{zz} sont non nulles dans un autre. 2) R_{xx} est non nulle sur au moins un point.
Si la première condition n'est pas remplie, les paramètres par défaut sont appliqués : R_y et R_{xx} est rigide aux deux extrémités. Il s'agit d'une approximation de $k_z = k_w = 1$ dans la formule ENV. Pour une poutre en porte-à-faux, le réglage par défaut est un appui à une extrémité avec des R_y, R_{xx} et R_{zz}.

Si la deuxième condition n'est pas remplie, c'est-à-dire qu'aucun appui de torsion n'a été défini, le réglage par défaut est de faire R_{xx} rigide à une extrémité.



Les conditions d'appui latéral peuvent être modifiées en cliquant sur le bouton ...
Un dialogue apparaît avec un tableau des appuis latéraux des assemblages d'éléments créés à partir de la sélection.
Les assemblages d'éléments sont listées à gauche. Le tableau indique les appuis latéraux de l'élément sélectionné.
Le dernier élément de la liste est le *même appui sur les éléments sélectionnés. En* sélectionnant cet élément, le tableau n'affiche que les appuis communs sur les assemblages d'éléments sélectionnés. L'ajout ou la suppression d'appuis modifiera la configuration des appuis de tous les assemblages d'éléments sélectionnés.



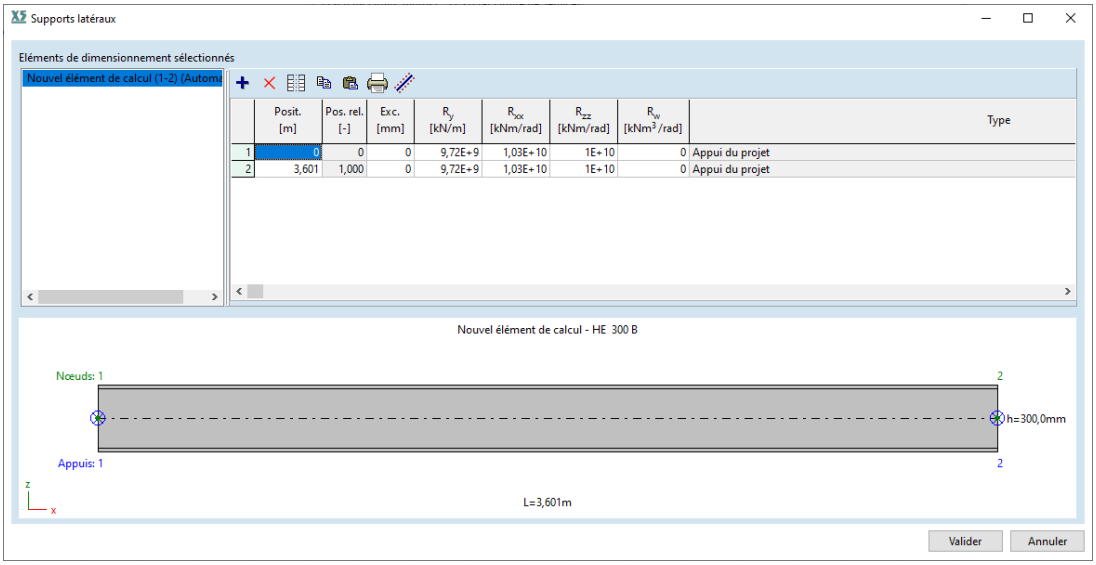
Ajouter un nouvel appui.
Ajoute une nouvelle ligne au tableau et permet de saisir les propriétés de l'appui.



Supprimer les appuis sélectionnés.
Supprime les lignes sélectionnées du tableau.

Les propriétés suivantes peuvent être éditées : position de l'appui, excentricité de l'appui dans la direction *z par rapport au* centre de gravité de la section transversale, composantes de la rigidité. Le dernier poteau indique le type d'appui :

Un appui supplémentaire a été défini par l'utilisateur.
L'appui du projet se réfère à un appui nodal relié à l'assemblage d'éléments.
L'élément de liaison désigne une ferme, une poutre ou une nervure se raccordant à l'assemblage d'éléments
L'aide par défaut fait référence aux aides créées automatiquement lorsque la première condition n'est pas remplie.
L'appui de torsion par défaut fait référence aux appuis créés automatiquement lorsque la deuxième condition n'est pas remplie.



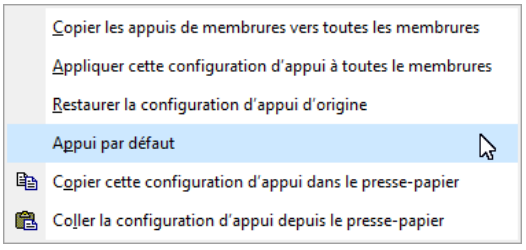
Le tableau affiche les éléments de liaison même si l'angle entre leur axe et l'axe de l'assemblage d'éléments est supérieur à 15°, mais seulement si le vecteur directionnel de l'élément de liaison a une composante non nulle dans l'axe *y* local de l'assemblage d'éléments (appui latéral). Ainsi, si l'assemblage d'éléments est une poutre horizontale, les poteaux verticaux et autres poutres horizontales en ligne avec l'assemblage d'éléments n'apparaîtront pas dans le tableau.
Les champs du tableau permettent d'entrer des nombres et certaines valeurs paramétriques également :

Pos. *L* est la longueur de l'assemblage d'éléments. La position relative peut donc être saisie comme *L/2* ou *2*L/3*.

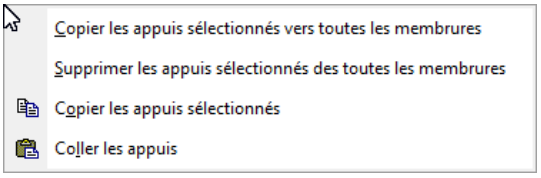
Exc. *h* est la hauteur de la section transversale. L'excentricité peut donc être saisie comme *h/2* ou *2*h/3*.

R... Composantes de rigidité : *m* sera interprété comme 1E+10.
Dans le cas d'un élément de liaison d'une longueur de *a* et d'une rigidité *E*I, 6*EI/a* peut être saisi.

Cliquez avec le bouton droit de la souris sur un élément de la liste à gauche pour des opérations supplémentaires



Cliquez avec le bouton droit de la souris sur une ligne du tableau pour effectuer des opérations supplémentaires



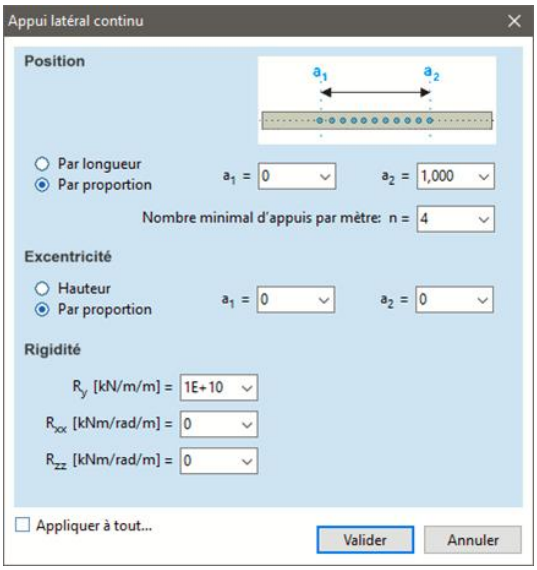


Appui latéral continu

Si une plaque (par exemple un panneau de toit métallique) est reliée à l'élément conçu, sa rigidité peut être considérée comme un appui latéral continu.

Dans la fenêtre d'*appui latéral continu, la* position, l'excentricité et la rigidité de la plaque peuvent être définies. En cochant la case *Appliquer à tous*, l'appui sera ajouté à tous les éléments étudiés en acier sélectionnés. Sinon, il sera ajouté uniquement à l'assemblage d'éléments, qui est sélectionné dans la fenêtre Appui *latéral*.

L'appui continue est convertie en appuis individuels par le programme. La densité des appuis individuels peut être définie par l'utilisateur (*nombre minimal d'appui par mètre, n*). Les appuis individuels à l'extrémité de la plaque ont la moitié des rigidités, comme ceux du milieu.



☞ **La modification de l'option "*Créer des assemblages d'éléments*" redéfinira les assemblages d'éléments de sorte que les appuis latéraux soient réinitialisés aux valeurs par défaut et que toutes les modifications soient perdues.**

AxisVM version 12 a estimé les conditions d'appui à partir des valeurs *kz* et *kw. Les* projets créés avec cette version apparaîtront avec le *paramètre Estimé à partir de kz, kw.*

Afin de faciliter l'exploitation et la compréhension de la méthode *AutoMcr et de* définir correctement les appuis latéraux, des lignes guides et des exemples peuvent être trouvés dans le *Guide AutoMcr*. Voir *Aide / Guide AutoMcr*

Position de la charge

Z_a est la coordonnée z du point d'application de la charge transversale (par rapport au centre de gravité de la section transversale), d'après la norme ENV 1993-1-1, figure F1.1. C'est une valeur signée et doit être définie comme le rapport entre cette distance et la hauteur de la section transversale. Les positions du centre de gravité et du haut ou du bas de la section transversale peuvent également être choisies par des boutons radio.

Cisaillement-flambement de l'âme

Pour les formes avec âme, l'âme peut être soutenue ou non par des raidisseurs :
Pas de raidisseurs : suppose qu'il n'y a pas de raidisseurs transversaux le long de l'élément de structure.
Raidisseurs transversaux : *Dans tous les cas, le programme suppose qu'il existe des raidisseurs transversaux (poteaux d'extrémité non rigides) aux extrémités des éléments structuraux (par exemple aux appuis).*

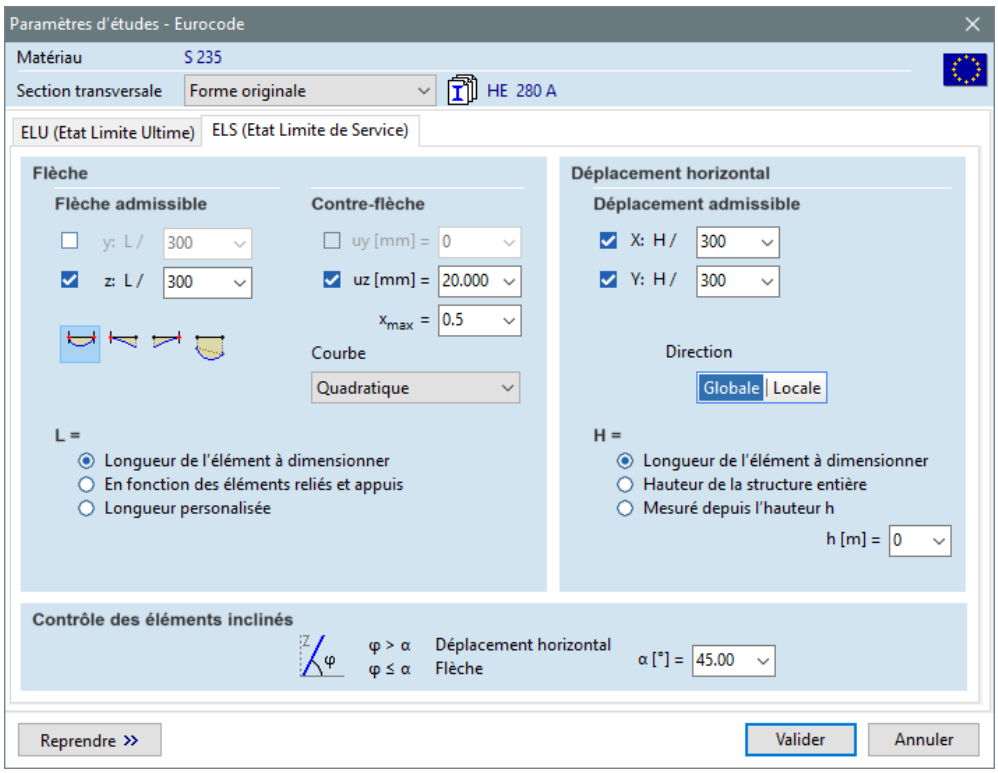
Vous pouvez voir le coefficient des forces sismiques à *4.10.24. Charges sismiques - module SE1.*

6.6.1.2. Paramètres d'étude en ELS



ELS (État limite de Service)

Les paramètres des contrôles de l'état limite de service (ELS) peuvent être définis dans l'onglet ELS de la fenêtre Paramètres d'étude.



Le programme vérifie les déviations des poutres et les déplacements horizontaux des poteaux. Les assemblages d'éléments inclinés en acier sont classés en fonction de l'angle entre leur axe central et le plan horizontal. Si cet angle est supérieur à α = 45°, alors l'élément est considéré comme une colonne, et s'il est inférieur à α = 45°, alors il est considéré comme une poutre. Cette valeur de α peut être modifiée à la rubrique *Vérification des éléments inclinés*.

☞ Si les combinaisons de charges critiques sont générées automatiquement, le programme effectue les contrôles ELS dans les combinaisons de charges caractéristiques.

Déviations verticales

Les déformations peuvent être vérifiées selon les directions de l'axe local *z* ou *y de l'assemblage d'éléments* en acier. La vérification dans chaque direction peut être activée/désactivée en cochant/décochant la case avant les valeurs limites. Les valeurs limites de déflexion sont fixées en fonction de la longueur (L) détaillée ci-dessous.



Les déviations peuvent être considérées de plusieurs façons : sur la base des déplacements réels ou sur la base des déplacements relatifs uniquement à la gauche, uniquement à la droite ou aux deux extrémités de l'assemblage d'éléments

Longueur (L)

Les flexions d'un assemblage d'élément et les limites de flexion (par exemple L/300) sont basées sur l'une des valeurs de longueur choisies ci-dessous :
Longueur de l'assemblage d'élément : L est égal à la longueur de l'assemblage d'éléments ;
Basé sur la liaison des éléments et des appuis : Si le paramètre Créer des assemblages d'éléments dans l'onglet ELU est défini sur la première option (les membrures sont cassés au niveau des éléments de liaisons et des appuis), alors cette longueur est égale à la longueur de l'assemblage d'éléments, et donc à la longueur ci-dessus. S'il est réglé sur la deuxième option (les poutres sélectionnées sont cochées comme un seul assemblage d'éléments), le programme vérifie alors s'il y a des appuis ou des éléments de liaison le long de l'assemblage d'éléments dans la direction du contrôle de déviation qui empêche la déviation de l'assemblage d'éléments. Entre les deux, le contrôle ELS est effectué pour chaque section transversale de l'élément. Par exemple, pour une poutre de 15 mètres de long, s'il y a des poteaux d'appui aux extrémités et à un tiers de la longueur de la poutre, le programme effectue des contrôles ELS séparément pour la première section transversale de 5 mètres de long et la section transversale restante de 10 mètres de long de la poutre.
Longueur personnalisée : toute valeur peut être saisie.

Contre-flèche

La contre-flèche peut être définie pour les assemblages d'éléments, où les quantités de contre-flèche (*uz* et *uy*) sont interprétées dans le système de coordonnées local. La forme de la contre-flèche peut être définie à l'aide de trois paramètres : Des courbes *quadratiques* ou *linéaires* peuvent être choisies, pour lesquelles la valeur maximale *(u)* et son emplacement le long de l'élément (x_{max}) doivent également être définis par l'utilisateur. Exceptionnellement, si les déplacements réels sont définis par l'utilisateur (par exemple, seule une section transversale d'une poutre est sélectionnée comme assemblage d'éléments), les valeurs de la contre-flèche sont alors constantes sur la longueur. Si la longueur L est fixée à la longueur de l'assemblage d'éléments ou à une longueur personnalisée, la contre-flèche est nulle aux extrémités de l'assemblage d'éléments. Si L, est *basée sur les éléments de liaison et les appuis*, la contre-flèche sera nulle aux extrémités et aux appuis trouvés par le programme dans la direction concernée.

☞ **Il est important de noter que la valeur de la contre-flèche définie ici n'a d'effet que dans les contrôles ELS, en réduisant les déviations calculées précédemment qui sont basées sur la forme originale.**

Déplacements horizontaux

Les déplacements horizontaux peuvent être vérifiés dans deux directions à la fois, selon le système de coordonnées global ou local. Si le système de coordonnées global est choisi, le programme vérifie les déplacements dans les directions des axes X et Y horizontaux. Si le système de coordonnées local est choisi, alors les composantes horizontales des déviations (*wx* et *wy*) sont vérifiées dans les directions locales *z* et *y de l'assemblage d'éléments*.

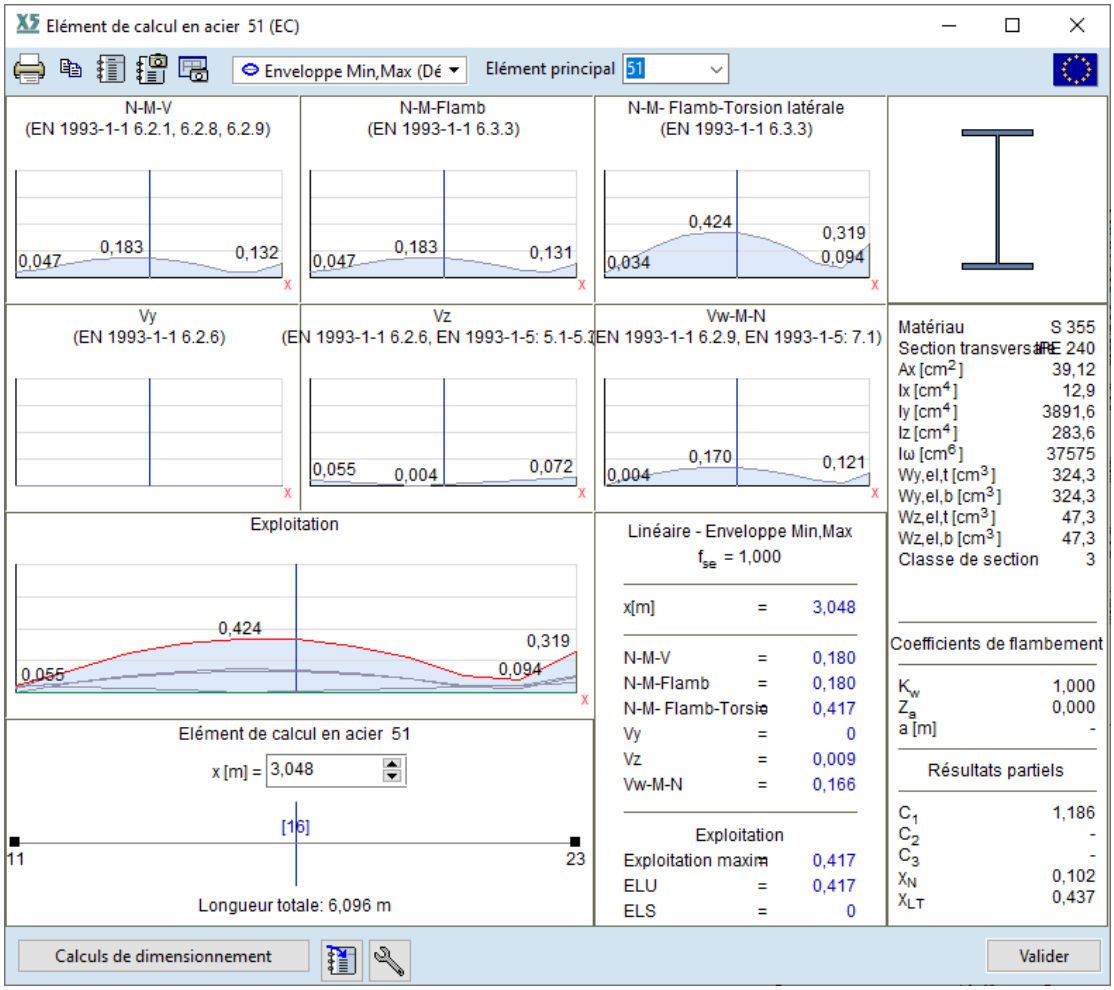
La hauteur *(H),* le long de laquelle le programme effectue les contrôles de déplacement, peut-être la longueur totale de la structure, ou seulement la hauteur de l'assemblage d'éléments ou le niveau. Dans le premier cas, les déformations réelles sont prises en compte, tandis que dans les derniers cas, seuls les déplacements relatifs le long de la hauteur considérée sont vérifiés. Dans le cas des éléments inclinés, la hauteur est définie comme la composante verticale de la longueur de l'assemblage d'éléments. La hauteur peut être définie par l'utilisateur :

- *Longueur des assemblages d'éléments* (déplacements horizontaux relatifs) ;
- *Hauteur de l'ensemble de la structure* (déplacements horizontaux réels) ;
- *Mesurée à partir de la hauteur h* (déplacements horizontaux réels).

6.6.1.3. Diagrammes et calculs d'étude

Diagrammes

Vous pouvez afficher les diagrammes correspondant à tous les contrôles individuels et leur enveloppe en cliquant sur l'assemblage d'éléments en acier. Les résultats pour n'importe quelle position d'un assemblage d'éléments en acier dans n'importe quel cas de charge ou combinaison peuvent être obtenus en sélectionnant dans la liste déroulante et en déplaçant le curseur. Si un contrôle ne peut être effectué avec la section transversale actuelle, le diagramme correspondant est remplacé par une croix.



Calculs de étude

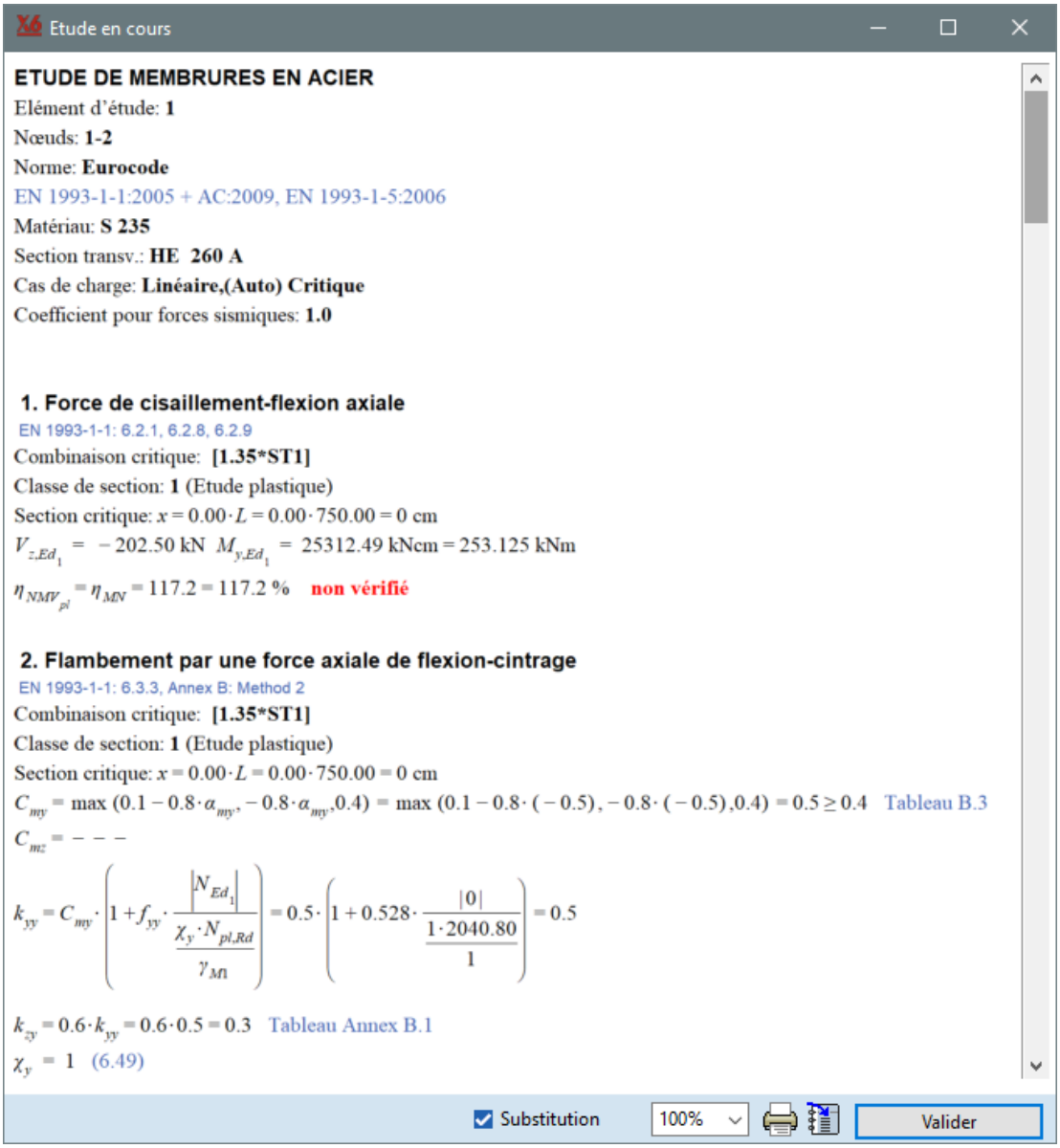
En cliquant sur le bouton "*Calculs d'étude*", un rapport des détails du calcul peut être affiché. Tous les contrôles de résistance et de stabilité apparaissent sous forme de formules complétées par des valeurs réelles substituées et des références au code d'étude.
Le rapport se compose des six contrôles d'interaction de base énumérés ci-dessus et de plusieurs résultats partiels qui facilitent le suivi des calculs et fournissent des détails utiles pour l'optimisation des sections transversales.
Les résultats partiels sont :

1. *Résistance plastique axiale*
2. *Résistance plastique au moment autour de l'axe des y*
3. *Résistance plastique au moment autour de l'axe z*
4. *Résistance plastique au cisaillement dans la direction z*
5. *Vérification de l'interaction entre la flexion et le cisaillement*
6. *Vérification de l'interaction entre la flexion et la force axiale*
7. *Résistance à la flexion et au flambement*
8. *Résistance au flambement latéral par torsion*

Cliquer sur l'icône *Paramètres* à côté du bouton *Calculs d'étude* permet de définir les unités de base pour la force et la longueur utilisées dans les calculs d'étude. Des résultats importants apparaissent également convertis en unités AxisVM standard (voir...*3.3.8. Unités et formats*).

Etude des calculs

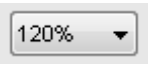
Les détails des calculs selon le code d'étude actuel sont affichés sous la forme d'un document de plusieurs pages. Les références aux sections transversales et aux formules du code d'étude apparaissent en bleu.



Cette fenêtre peut être redimensionnée.

Substitution

La substitution dans les formules peut être activée / désactivée. La suppression de la substitution rend le rapport un peu plus court.



Sélectionnez la taille de la police du rapport.



Imprime le calcul d'étude.



En cliquant sur cette icône, le calcul d'étude est ajouté au rapport actuel.

6.6.1.4. Optimisation de la section transversale en acier – module SD9

Le module SD9 nécessite le module SD1.

L'optimisation de la section transversale des structures en acier rend les assemblages d'éléments en acier, calculés précédemment définis et conçus plus efficacement en affinant les dimensions de la section transversale et en réduisant le poids propre.

☞ **L'optimisation vérifie les mêmes forces internes dans les assemblages d'éléments en ignorant les changements de rigidité dus aux changements de dimensions. Dans certaines structures, le recalcul du projet peut montrer des changements considérables dans les schémas de force interne. Dans ces cas, plusieurs optimisations consécutives peuvent aboutir à une structure la plus efficiente.**

L'optimisation utilise les paramètres d'étude acier préalablement attribués aux assemblages d'éléments

Les types de sections transversales qui se prêtent à l'optimisation sont: I, I asymétrique, 2L, rectangulaire, T, C, 2U et tubes. Les sections transversales variables ne peuvent pas être optimisées.

Groupes d'optimisation

La première étape de l'optimisation consiste à créer des groupes d'optimisation à partir des assemblages d'éléments existants en acier. Chaque élément d'un groupe d'optimisation doit avoir la même section transversale et l'optimisation attribuera la même section transversale aux membres du groupe. L'optimisation proprement dite peut être lancée à partir du deuxième onglet *(Optimisation)*.

La liste des groupes d'optimisation (voir à gauche de l'onglet *Groupes d'optimisation d'étude*) indique la section transversale commune et le nombre d'assemblages d'éléments au sein du groupe (<n> *)*. Sélectionnez un groupe et définissez les paramètres d'optimisation sur la droite (voir ci-dessous).

Objectif d' optimisation

L'objectif de l'optimisation peut être (1) le poids minimum, (2) la hauteur minimum ou (3) la largeur minimum.

Cela définit la fonction objective. Le processus recherchera la section transversale avec une exploitation <1 pour tous les éléments du groupe et la plus proche de l'objectif. Cette section transversale est appelée *section transversale optimisée*. L'objectif est atteint séparément pour chaque groupe.

Un maximum d'exploitation peut également être fixé. La limitation de l'exploitation peut aider à optimiser des structures statiquement indéterminées où les modifications de section transversale peuvent provoquer de grands changements dans les forces internes.

Contrôles d'optimisation

Il est possible d'ignorer certains contrôles pendant le processus d'optimisation. Tous les contrôles de résistance sont toujours effectués, mais les contrôles de flambement par flexion, de flambement par torsion latérale flambement de l'âme et ELS peuvent être désactivés.

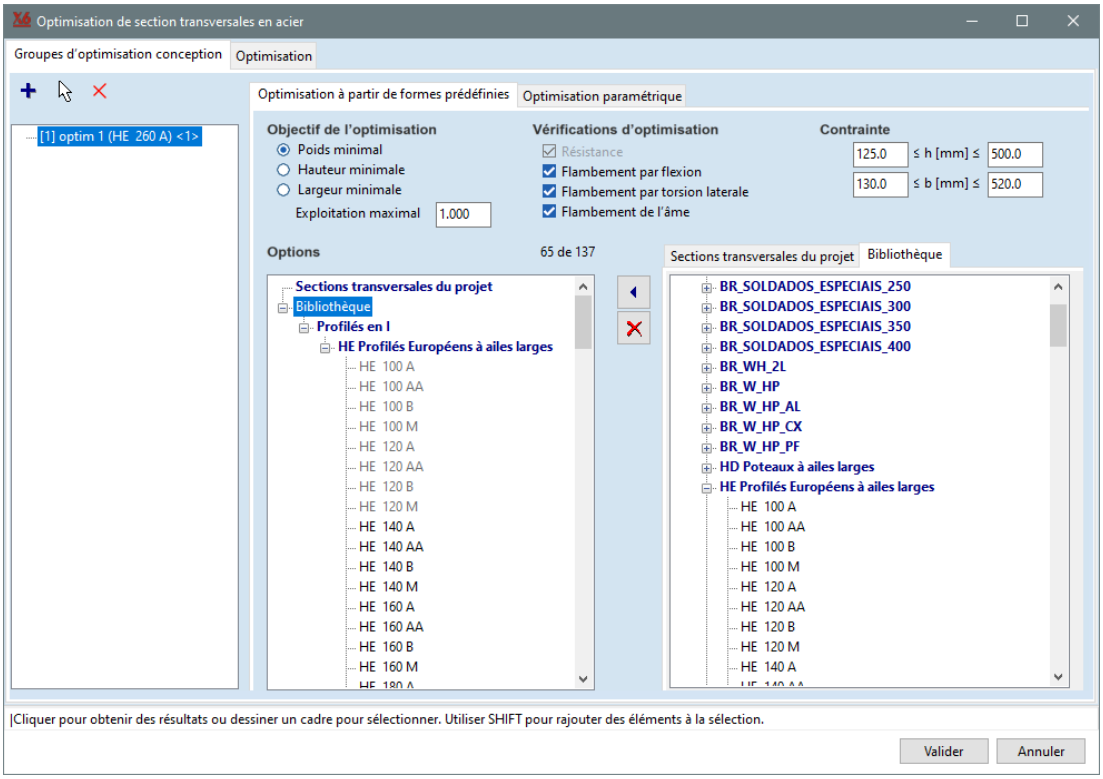
Types d'optimisation

Il existe deux façons de définir la gamme de sections transversales à vérifier. L'optimisation à *partir de formes prédéfinies* fonctionne sur un nombre donné de sections transversales tandis que l'*optimisation paramétrique* trouve la forme optimale dans différentes plages de paramètres géométriques.

Optimisation à partir de formes prédéfinies

Cette méthode permet de trouver la section transversale optimale à partir d'un nombre donné de formes prédéfinies. Les options peuvent être sélectionnées à partir des sections transversales des projets et de la bibliothèque. Les options doivent avoir le même type de section transversale que la section transversale originale du groupe.

L'éventail des options peut être réduit en fixant des *contraintes*. Seules les sections transversales comprises entre les limites de hauteur et de largeur seront utilisées comme options (les autres sections transversales apparaîtront en gris).

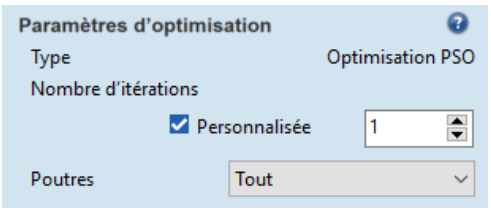


Si un groupe contient plus d'un assemblage d'éléments tous les éléments seront contrôlés. Les éléments sont contrôlés sur toute leur longueur. Toutes les options ne sont pas contrôlées. Le programme n'analyse que ceux qui sont nécessaires pour trouver l'optimum global.

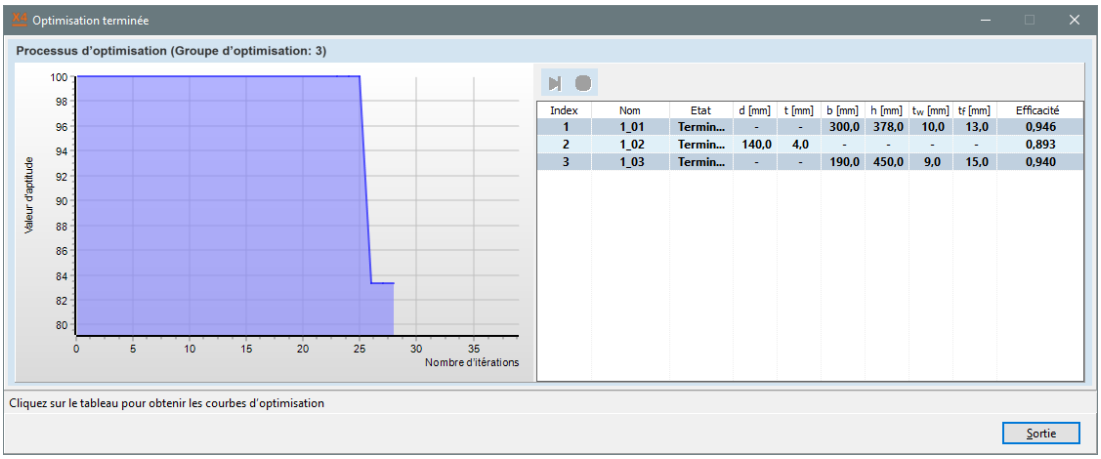
Optimisation paramétrique

Cette méthode permet de trouver la section transversale optimale dans différentes plages de paramètres géométriques.
De nombreux algorithmes de recherche optimale différents sont connus et utilisés avec succès pour optimiser les structures en forme d'ossatures. En raison de la non-linéarité du problème et du grand nombre d'optimums locaux, il est difficile de trouver un optimum global avec les mathématiques pures. C'est encore plus difficile si l'optimisation doit effectuer non seulement des contrôles de résistance mais aussi une analyse de stabilité.
AxisVM utilise ce que l'on appelle l'*Optimisation des Essaims de Particules* (OEP), une méthode de calcul stochastique pour trouver l'optimum. Il s'agit d'un algorithme évolutif développé dans les années 1990.
Le processus de OEP fonctionne pour un nombre donné d'itérations et, en raison de sa nature stochastique, il peut trouver de multiples optimums locaux. Le nombre d'itérations est déterminé par le programme qui essaie d'équilibrer le temps de fonctionnement et la cartographie la plus complète possible de l'espace de recherche. De plus, si l'algorithme ne trouve aucun changement dans le résultat après une longue période, il suppose qu'il s'agit de l'optimum global et quitte. En mode multi-threaded, l'espace de recherche est divisé entre les threads.
L'algorithme estime le nombre d'itérations nécessaires et sélectionne la méthode d'optimisation. Il peut s'agir soit d'une simple recherche linéaire, soit d'une optimisation OEP. La décision est basée sur les paramètres suivants : (1) taille de l'espace de recherche, (2) taille des pas d'itération, (3) nombre de paramètres fixes, (4) objectif de l'optimisation, (5) mode mono- ou multi-fil (voir Paramètres */ Préférences / Analyse*) (6) gamme de poutres pris en compte (tous ou *x%* des poutres les plus efficaces). La réduction du nombre de poutres pris en compte rend le calcul plus rapide mais réduit la précision. Ceci est utile si les groupes d'optimisation sont composés de nombreux éléments ayant une exploitation différente et que l'exploitation provient d'un contrôle qui est également effectué dans l'optimisation.

En cas d'optimisation OEP, l'utilisateur peut définir un *nombre d'itérations* personnalisé, en cochant la case *Personnalisé*.



Le calcul peut lancer des processus de recherche parallèles en utilisant tous les cœurs de processeur passant plus rapidement par l'espace de recherche. Voici un graphique typique pour le processus d'optimisation :



La ligne bleue montre la diversité décroissante des valeurs sur une échelle inversée. Le graphique rempli affiche la valeur d'adaptation en pourcentage de l'initiale (plus elle est faible, mieux c'est). Si la valeur d'adaptation ne change pas au fil des itérations et que la diversité des valeurs est faible, nous pouvons accepter le résultat actuel en passant à l'optimisation du groupe suivant ou en appuyant sur **[Echap]** pour quitter l'optimisation.



Passez au groupe suivant. Arrête l'optimisation du groupe en cours et passe au groupe suivant.

L'état actuel est considéré comme le résultat.



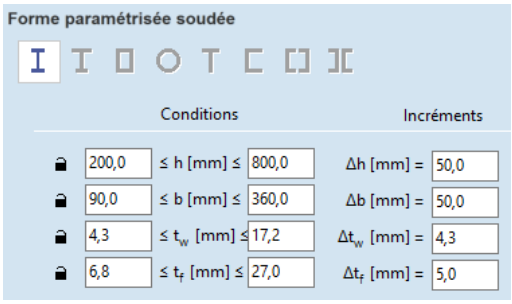
Arrêtez l'optimisation. Arrête toute l'optimisation. L'état actuel de chaque groupe est considéré comme le résultat. Même chose qu'en appuyant sur la touche **[Echap].**

L'avantage et l'inconvénient de cet algorithme est sa nature stochastique. Exécuter l'optimisation plusieurs fois pour le même problème peuvent conduire à des résultats légèrement différents. Cette tendance est plus forte dans les grands espaces de recherche. Pour les petits espaces de recherche comme les tuyaux dans une plage de taille étroite, une simple recherche linéaire est effectuée (en analysant toutes les options pour trouver la meilleure).

Fixer des contraintes

Les contraintes et les incréments des paramètres de section peuvent être définis. En cliquant sur l'icône de verrouillage, le paramètre est verrouillé à sa valeur d'origine. Pour régler un paramètre à une valeur souhaitée, il faut régler les limites inférieure et supérieure à la même valeur.

L'algorithme tente de trouver une section transversale qui soit la plus proche possible de l'exploitation maximale et qui soit la plus proche de l'objectif d'optimisation choisi.

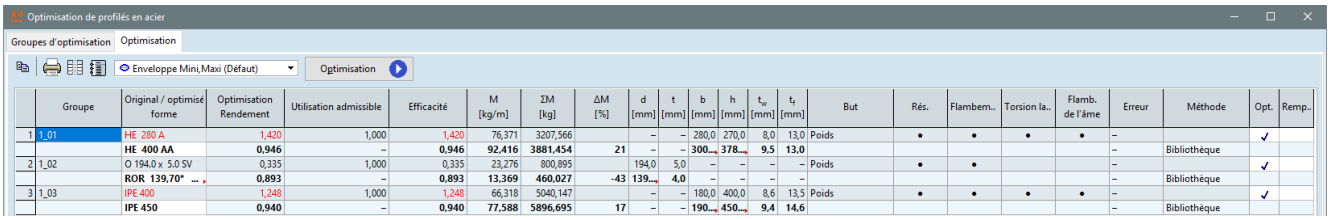


Des intervalles trop grands et/ou des incréments trop petits rendent l'espace de recherche extrêmement grand et, par conséquent, le temps de calcul augmente et/ou la convergence ralentit. Il est donc important de fixer les intervalles autour de l'optimum estimé.

Si un groupe d'optimisation contient plusieurs assemblages d'éléments, l'exploitation globale sera l'exploitation la plus élevée des éléments. Il n'est donc pas recommandé de placer dans le même groupe d'optimisation des éléments ayant des longueurs ou des forces internes très différentes.

Optimisation

Après avoir défini les paramètres, allez à l'onglet *Optimisation* pour exécuter l'optimisation pour le cas de charge, la combinaison, l'enveloppe ou la combinaison critique sélectionnés.



	Groupe	Original / optimisé forme	Optimisation Rendement	Utilisation admissible	Efficacité	M [kg/m]	ΣM [kg]	ΔM [%]	d [mm]	t [mm]	b [mm]	h [mm]	t_w [mm]	t_f [mm]	But	Rés.	Flambem..	Torsion la..	Flamb. de l'âme	Erreur	Méthode	Opt.	Remp..
1	1_01	HE 280 A	1,420	1,000	1,420	76,371	3207,566		–	–	280,0	270,0	8,0	13,0	Poids	•	•	•	•	–		✓	
		HE 400 AA	**0,946**	–	**0,946**	**92,416**	**3881,454**	**21**	–	–	**300...**	**378...**	**9,5**	**13,0**						–	Bibliothèque		
2	1_02	O 194.0 x 5.0 SV	0,335	1,000	0,335	23,276	800,895		194,0	5,0	–	–	–	–	Poids	•	•			–		✓	
		ROR 139,70* ...	**0,893**	–	**0,893**	**13,369**	**460,027**	**-43**	**139...**	**4,0**	–	–	–	–						–	Bibliothèque		
3	1_03	IPE 400	1,248	1,000	1,248	66,318	5040,147		–	–	180,0	400,0	8,6	13,5	Poids	•	•	•	•	–		✓	
		IPE 450	**0,940**	–	**0,940**	**77,588**	**5896,695**	**17**	–	–	**190...**	**450...**	**9,4**	**14,6**						–	Bibliothèque		

Le tableau présente les paramètres du groupe et les résultats de l'optimisation (poids par unité de longueur, réduction du poids, largeur et hauteur). La colonne opt. permet de contrôler quel groupe doit être optimisé.

Si l'optimisation était basée sur des formes prédéfinies, une liste déroulante peut être ouverte avec toutes les sections transversales vérifiées et utilisables triées de la plus haute à la plus basse exploitation.

La colonne *Remplacer* contrôle les sections transversales qui doivent être remplacées. En cliquant sur le bouton Remplacer les sections transversales, les sections transversales des groupes sélectionnés seront effectivement remplacées.

☞ **L'optimisation de la section transversale peut être une tâche longue en fonction de l'éventail des options et de la taille des groupes, de sorte que dans le cas d'un grand espace de recherche (par exemple, optimisation paramétrique), il est recommandé de ne pas choisir la méthode AutoMcr, plus lente, pour les calculs de flambement latéral.**

6.6.2. Étude au feu de poutres en acier selon l'Eurocode 3 - module SD8

Normes

AxisVM calcule la résistance au feu d'éléments en acier selon différents codes nationaux. Dans le cas des annexes nationales des Eurocodes qui ne sont pas énumérées ci-dessous, les règles générales de la norme *EN 1993-1-2* sont prises en compte.

Eurocode	*EN 1993-1-2* *Eurocode 3: Étude des structures en acier* *Partie 1-2: Étude structurelle du feu*
CE Allemand	*DIN EN 1993-1-2:2010-12 les Annexes Nationales*
CE hongroise	*SZ EN 1993-1-2:2013 les Annexes Nationales*
CE Roumain	*SR EN 1993-1-2:2006/NB:2008*
CE Slovaque	*STN EN 1993-1-2/les Annexes Nationales:2008*
ECPolish	*PN EN 1993-1-2 les Annexes Nationales*
ECBritish	*BS EN 1993-1-2:2005 les Annexes Nationales*
ECFinlandais	*SFS-EN 1993-1-2:2005 les Annexes Nationales*

Étude des structures en acier en fonction du feu selon la norme EN 1993-1-2

Le calcul de la résistance au feu de poutres en acier (module SD8) est basée sur le calcul d'éléments en acier "ordinaires" (module SD1) ; voir... *6.6.1. Étude des poutres en acier selon l'Eurocode 3 - module SD1*. Le **module SD1 est** donc **une condition préalable à l'exploitation du module SD8**.

La norme EN 1993-1-2 (EC3-1-2) traite d'étude des structures en acier en cas d'incendie. L'EC3-1-2 est très proche de l'EN 1993-1-1, nous ne constatons donc que la différence.

La résistance au feu des poutres en acier peut être effectuée dans AxisVM si *1)* la combinaison de charge sélectionnée comprend un cas de charge d'incendie (*4.10.1. Cas de charge, groupes de charges*) *2)* si un effet du feu a été attribué à l'un des éléments sélectionnés (*4.10.31. Effet du feu sur les éléments linaires en acier - module SD8*) dans ce cas de charge d'incendie. Si différents effets du feu ont été attribués aux éléments d'un assemblage d'éléments, un message d'erreur apparaît et l'étude du feu ne peut pas être effectuée.

Si la sélection contient des éléments sans effet de feu, l'étude ordinaire de l'acier sera effectuée sur eux. Certains paramètres d'étude acier en cas d'incendie doivent également être attribués aux éléments (voir ci-dessous).

Analyse des éléments

L'EC3-1-2 aborde différentes méthodes : analyse des éléments, analyse d'une partie de la structure et analyse de la structure entière. L'analyse des éléments est la méthode de vérification la plus répandue en raison de sa simplicité. L'analyse d'une partie ou de l'ensemble de la structure nécessite généralement des projets numériques non linéaires complexes et une analyse statique non linéaire.

Principes généraux de l'analyse des membres selon l'EC3-1-2:

- Les forces internes des assemblages d'éléments peuvent être calculées à l'aide d'une analyse statique linéaire ;
- "Seuls les effets des déformations thermiques résultant du gradient thermique à travers la section transversale doivent être pris en compte. Les effets des dilatations thermiques axiales ou en surface peuvent être négligés". (EC3-1-2, 2.4.2 (4)) ;
- "On peut supposer que les conditions limites aux appuis et aux extrémités de l'élément restent inchangées pendant toute la durée de l'exposition au feu". (EC3-1-2, 2.4.2 (5)).

SD8 procède à l'analyse des éléments. Il faut vérifier si cette structure/cette partie structurelle peut être vérifiée par l'analyse des éléments conformément aux directives de l'EC3-1-2.

Dans certains cas, l'analyse d'une partie de la structure peut également être effectuée dans AxisVM si
1) les conditions aux limites sont définies avec soin,
2) les effets du feu sont pris en compte en tant que charge thermique et 3) les recommandations de la section 2.4.3 de l'EC3-1-2. Sont respectées

$k_{y,\theta}$, k_E, $k_{y,\theta,4}$

Selon le règlement EC3-1-2, les facteurs de réduction suivants pour les propriétés mécaniques des aciers au carbone sont pris en compte dans l'étude des feux d'acier dans l'AxisVM:

- $ky_{,\theta}$ - facteur de réduction de la limite d'élasticité (sections transversales de classe 1, 2 et 3), par rapport à la limite d'élasticité à 20 °C ;
- $ky_{,\theta,4}$ - facteur de réduction de la limite d'élasticité (section transversale de classe 4), par rapport à la limite d'élasticité à 20 °C ;
- k_E - facteur de réduction du module d'Young, par rapport au module d'Young à 20 °C.

Il convient de noter que, dans le cas d'étude acier inoxydable, différents facteurs de réduction doivent être utilisés.

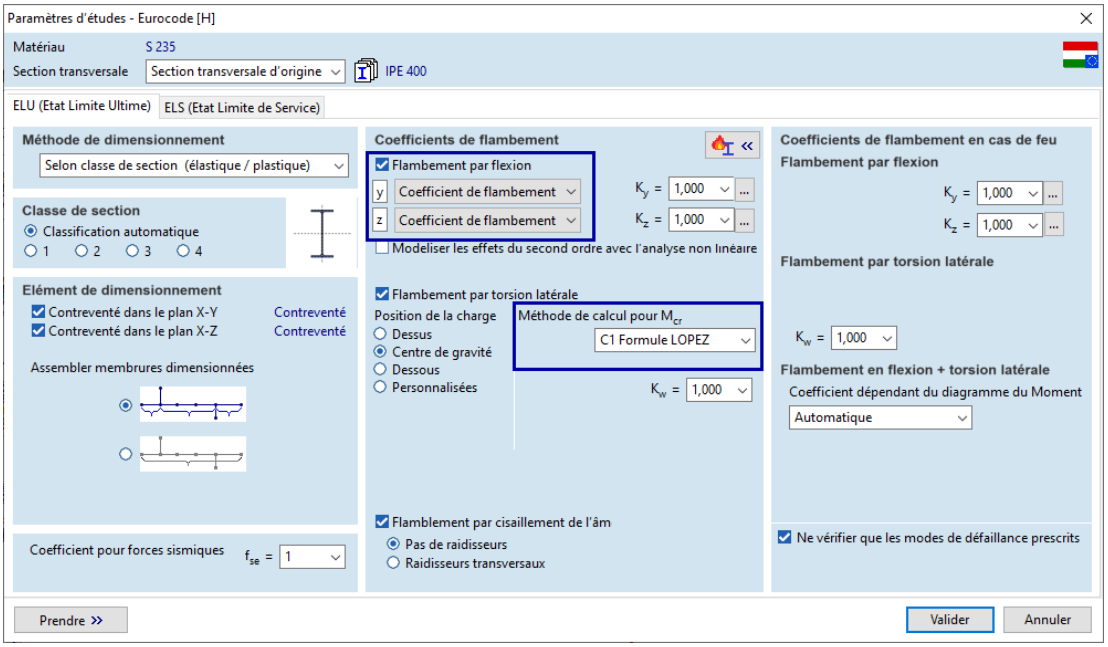
θ_s [°C]	$k_{y,\theta}$	$k_{y,\theta,4}$	k_E
20	1.000	1.000	1.000
100	1.000	1.000	1.000
200	1.000	0.890	0.900
300	1.000	0.780	0.800
400	1.000	0.650	0.700
500	0.780	0.530	0.600
600	0.470	0.300	0.310
700	0.230	0.130	0.130
800	0.110	0.070	0.090
900	0.060	0.050	0.0675
1000	0.040	0.030	0.045
1100	0.020	0.020	0.0225
1200	0.000	0.000	0.000

Paramètres de calcul de feu



Pour l'étude du feu basée sur l'EC3-1-2, les paramètres d'étude du feu doivent être définis et attribués aux éléments structuraux. Cliquer sur le bouton affiché ci-dessous dans un rectangle rouge.
Ce bouton n'est visible que si
1) Le module SD8 fait partie de la configuration et
2) l'étude acier au feu selon le code d'étude actuel est prise en charge.
Le bouton ajoute un panneau supplémentaire sur le côté droit. S'il reste caché, l'étude du feu de l'élément ne sera pas effectuée.





Coefficients de flambement dans le feu

Flambement par flexion

Il est possible de définir différentes longueurs de flambement ou différents coefficients de longueur de flambement pour le calcul de la résistance au flambement autour des axes ***y*** et ***z*** *dans le* feu, car la déflexion de l'élément est souvent empêchée par des éléments à paroi mince (pannes, etc.) qui perdent très rapidement leur rigidité à température élevée. La définition/calcul de la longueur de flambement est la même que dans le cas d'une étude à température normale (rectangle bleu). Si le calcul automatique de la longueur de flambement est sélectionné, le module d'étude du feu utilise la même longueur de flambement que dans le cas d'une étude à température normale.
Si le *flambement par flexion* est vérifié, le calcul et la vérification de la résistance au flambement sont effectués à la fois à température normale et à température élevée.

Flambement par torsion latérale

K_ω Le facteur lié aux contraintes contre le gauchissement peut être différent à température élevée.
Si le *flambement latéral par torsion* est vérifié, le calcul et la vérification de la résistance sont effectués à la fois à température normale et à température élevée.

M_{cr} - moment de flexion critique

Différents paramètres peuvent être définis pour l'examen et le calcul du moment de flexion critique. La méthode de calcul du moment de flexion critique et de la position de la charge est la même que pour l'étude à température normale (rectangle bleu).
Si l'option AutoMcr est sélectionnée, les appuis latéraux calculés automatiquement ou définis par l'utilisateur sont pris en compte par le calcul de M_{cr}.

Flambement en flexion + torsion latérale

La vérification contre le flambement par flexion et torsion est effectuée si le *flambement par flexion et le flambement par torsion latérale* sont vérifiés et si les paramètres de stabilité sont définis. La méthode de vérification est expliquée ci-dessous. Des facteurs de moment uniforme équivalents $\beta_{M,y}$, $\beta_{M,z}$ *et* $\beta_{M,LT}$ de l'EC3-1-2 ; Fig. 4.2) doivent être définis. Il est possible de calculer ces facteurs automatiquement sur la base du diagramme des moments de flexion.

Ne vérifier que les modes de défaillance prescrits

Les normes EN 1993-1-1 et EN 1993-1-2 sont similaires, mais l'EN 1993-1-2 ne traite pas de la vérification dans plusieurs modes de défaillance (par exemple, la rupture causée par des forces internes en interaction les unes avec les autres ou la rupture par flambement de l'âme en cisaillement). Selon la littérature pertinente, les formules de vérification de l'EN 1993-1-1 peuvent être utilisées dans ces cas mais avec une limite d'élasticité et un module d'Young réduits. Néanmoins, ces vérifications ne sont pas prescrites par le code.

Si le contrôle porte *uniquement sur les modes de défaillance prescrits*, seuls les contrôles d'étude EC3-1-2 sont effectués.

Classe de section

AxisVM classe les sections transversales selon le tableau 5.2 de la norme EN 1993-1-1. En cas d'incendie, le paramètre ε est calculé selon la norme EC3-1-2:

$$\varepsilon = 0.85\sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

Contrôles d'étude dans le feu

Le SD8 effectue les contrôles d'étude suivants :

Ne vérifier que les modes de défaillance prescrits



Force axiale - flexion – effort tranchant [N-M-V] (EN 1993-1-1, 6.2.1, 6.2.9.3) (EN 1993-1-2, 4.2.1-4.2.3, annexe E)
Compression-Flexion-Fléchissement (flexion dans le plan ou torsion) [N-M-Flamb] (EN 1993-1-2, 4.2.3.5, Annexe E)
Force axiale - flexion - Flambement torsion latérale. [N-M-FlambTLl] (EN 1993-1-2, 4.2.3.5, Annexe E)
Effort tranchant /y [Vy] (EN 1993-1-2, 4.2.3.3, 4.2.3.4, Annexe E)
Effort tranchant /z [Vz] (EN 1993-1-2, 4.2.3.3, 4.2.3.4, Annexe E)

Ne vérifier que les modes de défaillance prescrits



Force axiale - flexion – effort tranchant [N-M-V] (EN 1993-1-1, 6.2.1, 6.2.8, 6.2.9.3) (EN 1993-1-2, 4.2.1-4.2.3, annexe E)
Compression-Flexion-Fléchissement (flexion dans le plan ou torsion) [N-M-Flamb](EN 1993-1-2, 4.2.3.5, Annexe E)
Force axiale - flexion - Flambement torsion latérale. [N-M-FlambTL] (EN 1993-1-2, 4.2.3.5, Annexe E)
Effort tranchant /y [Vy] (EN 1993-1-2, 4.2.3.3, 4.2.3.4, Annexe E)
Effort tranchant /z [Vz] (EN 1993-1-5, 5.1-5.3) (EN 1993-1-2, 4.2.3.3, 4.2.3.4, annexe E)
Effort tranchant âme - flexion - force axiale [Vw-M-N]. (EN 1993-1-1, 6.2.1, 6.2.8, 6.2.9) (EN 1993-1-5, 5.1-5.3, 7.1) (EN 1993-1-2, 4.2.1-4.2.3, annexe E)

Résistances

Résistance plastique (axiale) [Npl,fi,Rd] (EN 1993-1-2, 4.2.3.1, annexe E)
Résistance efficace (lorsqu'elle est soumise à une compression uniforme) [Neff, fi,Rd](EN 1993-1-2, 4.2.3.1, annexe E)
Résistance élastique à l'effort tranchant / axe des ordonnées [Vel,fi,y,Rd] (EN 1993-1-1, 6.2.6, EN 1993-1-2, 4.2.3.3, 4.2.3.4, annexe E)
Résistance élastique à l'effort tranchant / axe Z [Vel,fi,z,Rd] (EN 1993-1-1, 6.2.6, EN 1993-1-2, 4.2.3.3, 4.2.3.4, annexe E)
Résistance plastique à l'effort tranchant / axe y [Vpl,fi,y,Rd] (EN 1993-1-1, 6.2.6, EN 1993-1-2, 4.2.3.3, 4.2.3.4, annexe E)
Résistance plastique à l'effort tranchant / axe Z [Vpl,fi,z,Rd] (EN 1993-1-1, 6.2.6, EN 1993-1-2, 4.2.3.3, 4.2.3.4, annexe E)
Flambement de l'âme par cisaillement [Vb,fi,Rd] (EN 1993-1-5, 5.1-5.3, EN 1993-1-2, 4.2.3.3, 4.2.3.4, Annexe E)

Résistance élastique aux moments /yy [Mel,fi,y,Rd] (EN 1993-1-2, 4.2.3.4, Annexe E)
Résistance élastique aux moments /zz [Mel,fi,z,Rd] (EN 1993-1-2, 4.2.3.4, Annexe E)
Résistance plastique aux moments /yy [Mpl,fi,y, Rd] (EN 1993-1-2, 4.2.3.3, Annexe E)
Résistance plastique aux moments /zz [Mpl,fi,z,Rd] (EN 1993-1-2, 4.2.3.3, Annexe E)
Moment de résistance pour une section transversale efficace soumise à une flexion autour de l'axe y [Meff,fi,y, Rd] (EN 1993-1-2, 4.2.3.3, 4.2.3.4, annexe E)
Résistance au moment pour une section transversale efficace soumise à une flexion autour de l'axe z [Meff,fi,z,Rd] (EN 1993-1-2, 4.2.3.3, 4.2.3.4, annexe E)
Résistance minimale au flambement (en flexion dans le plan ou en torsion) [Nb,fi,Rd] (EN 1993-1-2, 4.2.3.2, annexe E)
Résistance au flambement latéral en torsion [Mb,fi,Rd] (EN 1993-1-2, 4.2.3.3, 4.2.3.4, Annexe E)
Température critique [ϑcr] (EN 1993-1-2)

Force axiale - flexion – effort tranchant

Ne vérifier que les modes de défaillance prescrits



Contrôle d'étude élastique (sections transversales de classe 3)

Formule générale :

$$\frac{N_{Ed}}{A\frac{f_y k_{y,\theta}}{\gamma_{M_{fi}}}} + \frac{M_{y,Ed}}{W_{el,y}\frac{f_y k_{y,\theta}}{\gamma_{M_{fi}}}} + \frac{M_{z,Ed}}{W_{el,z}\frac{f_y k_{y,\theta}}{\gamma_{M_{fi}}}} \leq 1$$

Si l'effort tranchant est supérieure à 50 % de la résistance à l'effort tranchant ou si le moment de torsion est présent, la condition d'élasticité suivante est vérifiée (uniquement pour les sections transversales I, T, C, boîte et tarte):

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y k_{y,\theta}/\gamma_{M_{fi}}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y k_{y,\theta}/\gamma_{M_{fi}}}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y k_{y,\theta}/\gamma_{M_{fi}}}\right)\left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y k_{y,\theta}/\gamma_{M_{fi}}}\right) + 3\left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y k_{y,\theta}/\gamma_{M_{fi}}}\right)^2 \leq 1$$

Contrôle d'étude élastique (sections transversales de classe 4)

Formule générale :

$$\frac{N_{Ed}}{A_{eff}\frac{f_y k_{y,\theta,4}}{\gamma_{M_{fi}}}} + \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{W_{eff,y}\frac{f_y k_{y,\theta,4}}{\gamma_{M_{fi}}}} + \frac{M_{z,Ed}}{W_{eff,z}\frac{f_y k_{y,\theta,4}}{\gamma_{M_{fi}}}} \leq 1$$

Si l'effort tranchant est supérieure à 50 % de la résistance à l'effort tranchant ou si le moment de torsion est présent, la condition d'élasticité suivante est vérifiée (uniquement pour les sections transversales I, T, C, boîte et tarte):

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y k_{y,\theta,4}/\gamma_{M_{fi}}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y k_{y,\theta,4}/\gamma_{M_{fi}}}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y k_{y,\theta,4}/\gamma_{M_{fi}}}\right)\left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y k_{y,\theta,4}/\gamma_{M_{fi}}}\right) + 3\left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y k_{y,\theta,4}/\gamma_{M_{fi}}}\right)^2 \leq 1$$

$\Delta M_{y,Ed} = N_{Ed} \cdot e_{N,y}$ Elle ne diffère de zéro que lorsque la section transversale est dans la classe 4 et que la section transversale d'origine est asymétrique par rapport à l'axe *y*.

Contrôle d'étude plastique

Pour les sections transversales I, les tuyaux et les boîtes des classes 1 et 2, le contrôle de résistance est effectué conformément à la norme EN 1993-1-1 6.2.10 et EC3-1-2. On tient compte de l'effet de l'effort tranchant et de la force axiale sur le moment de résistance. Outre le contrôle de la résistance de la force axiale pure et de l'effort tranchant pur, les critères suivants doivent également être satisfaits:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,fi,y,Rd}} \leq 1;\ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,fi,z,Rd}} \leq 1$$

Où $M_{N,fi,y,Rd}$, $M_{N,fi,z,Rd}$ sont des moments résistants réduits basés sur l'effet de l'effort tranchant et de la force axiale (EN 1993-1-1 6.2.8. et 6.2.9.1). Pour les sections transversales de tube, le moment réduit est calculé comme suit :

$$M_{N,fi,y,Rd} = 1.04 \cdot \left(1 - \rho - \frac{n^{1.7}}{(1-\rho)^{0.7}}\right);\ n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,fi,Rd}};\ \rho = \left(2\frac{V_{Ed}}{V_{pl,fi,z,Rd}} - 1\right)^2$$

$$M_{N,fi,z,Rd} = 1.04 \cdot \left(1 - \rho - \frac{n^{1.7}}{(1-\rho)^{0.7}}\right);\ n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,fi,Rd}};\ \rho = \left(2\frac{V_{Ed}}{V_{pl,fi,y,Rd}} - 1\right)^2$$

Pour la flexion bi-axiale, le critère de la norme EN 1993-1-1 6.2.9.1. (6) doit être satisfait (I, sections transversales en forme de boîte et de tube):

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,fi,y,Rd}}\right]^{\alpha} + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,fi,z,Rd}}\right]^{\beta} \leq 1$$

Autres types de sections transversales :

$$N_{pl,fi,Rd} = \frac{A f_y k_{y,\theta}}{\gamma_{M_{fi}}};\ M_{pl,fi,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y k_{y,\theta}}{\gamma_{M_{fi}}};\ M_{pl,fi,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} f_y k_{y,\theta}}{\gamma_{M_{fi}}}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,fi,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,fi,y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,fi,z,Rd}} \leq 1$$

Si l'effort tranchant est supérieur à 50% de la résistance à l'effort tranchant, la résistance au moment de flexion est réduite en tenant compte de l'effet de l'effort tranchant selon EN 1993-1-1 6.2.8. et EC3-1-2 ($MV_{,fi,y,Rd}$, $MV_{,fi,z,Rd}$).

Ne vérifier que les modes de défaillance prescrits



Contrôle d'étude élastique (sections transversales de classe 3)

$$\frac{N_{Ed}}{A\frac{f_y k_{y,\theta}}{\gamma_{M_{fi}}}} + \frac{M_{y,Ed}}{W_{el,y}\frac{f_y k_{y,\theta}}{\gamma_{M_{fi}}}} + \frac{M_{z,Ed}}{W_{el,z}\frac{f_y k_{y,\theta}}{\gamma_{M_{fi}}}} \leq 1$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{el,fi,y,Rd}} \leq 1;\ \frac{V_{z,Ed}}{V_{el,fi,z,Rd}} \leq 1$$

Contrôle d'étude élastique (sections transversales de classe 4)

$$\frac{N_{Ed}}{A_{eff}\frac{f_y k_{y,\theta,4}}{\gamma_{M_{fi}}}} + \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{W_{eff,y}\frac{f_y k_{y,\theta,4}}{\gamma_{M_{fi}}}} + \frac{M_{z,Ed}}{W_{eff,z}\frac{f_y k_{y,\theta,4}}{\gamma_{M_{fi}}}} \leq 1$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{el,fi,y,Rd}} \leq 1;\ \frac{V_{z,Ed}}{V_{el,fi,z,Rd}} \leq 1$$

Contrôle d'étude plastique

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,fi,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,fi,y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,fi,z,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{pl,fi,y,Rd}} \leq 1;\ \frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,fi,z,Rd}} \leq 1$$

Compression-Fléchissement-Fléchissement

Selon la norme EN 1993-1-2, 4.2.3.5 (4.21a, c):

Contrôle d'étude élastique (sections transversales de classe 3)

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_{min,fi}Ak_{y,\theta}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}} + k_y\frac{M_{y,Ed}}{W_{el,y}k_{y,\theta}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}} + k_z\frac{M_{z,Ed}}{W_{el,z}k_{y,\theta}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}} \leq 1$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y N_{Ed}}{\chi_{y,fi}Ak_{y,\theta}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}} \leq 3;\ k_z = 1 - \frac{\mu_z N_{Ed}}{\chi_{z,fi}Ak_{y,\theta}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}} \leq 3$$

Contrôle d'étude élastique (sections transversales de classe 4)

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_{min,fi}A_{eff}k_{y,\theta,4}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}} + k_y\frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{W_{eff,y}k_{y,\theta,4}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}} + k_z\frac{M_{z,Ed}}{W_{eff,z}k_{y,\theta,4}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}} \leq 1$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y N_{Ed}}{\chi_{y,fi}A_{eff}k_{y,\theta,4}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}} \leq 3;\ k_z = 1 - \frac{\mu_z N_{Ed}}{\chi_{z,fi}A_{eff}k_{y,\theta,4}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}} \leq 3$$

Contrôle d'étude plastique

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_{min,fi}Ak_{y,\theta}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}} + k_y\frac{M_{y,Ed}}{W_{pl,y}k_{y,\theta}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}} + k_z\frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z}k_{y,\theta}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}} \leq 1$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y N_{Ed}}{\chi_{y,fi}Ak_{y,\theta}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}} \leq 3;\ k_z = 1 - \frac{\mu_z N_{Ed}}{\chi_{z,fi}Ak_{y,\theta}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}} \leq 3$$

où

$$\mu_y = (2\beta_{M,y} - 5)\bar{\lambda}_{y,\theta} + 0.44\beta_{M,y} + 0.29 \leq 0.8$$

$$\mu_z = (1.2\beta_{M,y} - 3)\bar{\lambda}_{z,\theta} + 0.71\beta_{M,z} - 0.29 \leq 0.8$$

Le calcul des facteurs de réduction $\chi_{y,fi}$ et $\chi_{z,fi}$ est conforme à la norme EC3-1-2 4.2.3.2.

Force axiale - flexion - torsion latérale

Selon la norme EN 1993-1-2, 4.2.3.5 (4.21b, d):

Contrôle d'étude élastique (sections transversales de classe 3)

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_{z,fi}Ak_{y,\theta}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}} + k_{LT}\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT,fi}W_{el,y}k_{y,\theta}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}} + k_z\frac{M_{z,Ed}}{W_{el,z}k_{y,\theta}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}} \leq 1$$

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} N_{Ed}}{\chi_{z,fi}Ak_{y,\theta}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}} \leq 3;\ k_z = 1 - \frac{\mu_z N_{Ed}}{\chi_{z,fi}Ak_{y,\theta}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}} \leq 3$$

Contrôle d'étude élastique (sections transversales de classe 4)

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_{z,fi}A_{eff}k_{y,\theta,4}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}}+k_{LT}\frac{M_{y,Ed}+\Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT,fi}W_{eff,y}k_{y,\theta,4}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}}+k_z\frac{M_{z,Ed}}{W_{eff,z}k_{y,\theta,4}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}}\leq 1$$

$$k_{LT}=1-\frac{\mu_{LT}N_{Ed}}{\chi_{z,fi}A_{eff}k_{y,\theta,4}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}}\leq 3;\ k_z=1-\frac{\mu_zN_{Ed}}{\chi_{z,fi}A_{eff}k_{y,\theta,4}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}}\leq 3$$

Contrôle d'étude plastique

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_{z,fi}Ak_{y,\theta}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}}+k_{LT}\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT,fi}W_{pl,y}k_{y,\theta}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}}+k_z\frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z}k_{y,\theta}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}}\leq 1$$

$$k_{LT}=1-\frac{\mu_{LT}N_{Ed}}{\chi_{z,fi}Ak_{y,\theta}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}}\leq 3;\ k_z=1-\frac{\mu_zN_{Ed}}{\chi_{z,fi}Ak_{y,\theta}\frac{f_y}{\gamma_{M_{fi}}}}\leq 3$$

où

$$\mu_{LT}=0.15\bar{\lambda}_{z,\theta}\beta_{M,LT}-0.15\leq 0.9$$

$$\mu_z=\left(1.2\beta_{M,y}-3\right)\bar{\lambda}_{z,\theta}+0.71\beta_{M,z}-0.29\leq 0.8$$

Le calcul des facteurs de réduction $\chi_{LT,fi}$ et $\chi_{z,fi}$ est conforme aux points 4.2.3.2 et 4.2.3.3 de la norme EC3-1-2.

Effort tranchant /y [Vy]

Selon les normes EN 1993-1-1, 6.2.6, EN 1993-1-2, 4.2.3.3, 4.2.3.4, annexe E:

Contrôle d'étude élastique (sections transversales de classe 3)

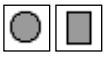
$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{el,fi,y,Rd}}\leq 1;\ V_{el,fi,y,Rd}=\frac{I_z\cdot t}{S_z}\frac{f_yk_{y,\theta}}{\sqrt{3}\gamma_{M_{fi}}}$$

Contrôle d'étude élastique (sections transversales de classe 4)

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{el,fi,y,Rd}}\leq 1;\ V_{el,fi,y,Rd}=\frac{I_z\cdot t}{S_z}\frac{f_yk_{y,\theta,4}}{\sqrt{3}\gamma_{M_{fi}}}$$

Sections transversales supportées :





Types de sections transversales ou étude plastique non pris en charge :

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{pl,fi,y,Rd}}\leq 1;\ V_{pl,fi,y,Rd}=A_v\frac{f_yk_{y,\theta}}{\sqrt{3}\gamma_{M_{fi}}}$$

Cisaillement /z [Vz]
Ne vérifier que les modes de défaillance prescrits



AxisVM effectue le contrôle d'étude suivant :

$$\frac{V_{zEd}}{\min\left(V_{z,fi,Rd},V_{b,fi,Rd}\right)}\leq 1$$

$V_{b,fi,Rd}$ La résistance au flambement des âmes de cisaillement (pour les sections transversales en I et en boîte) est basée sur la résistance à l'effort tranchant de l'âmes. Le calcul de la résistance au cisaillement de l'âme (pour les sections transversales I et box) est basé sur la résistance au cisaillement des âmes. $V_{z,fi,Rd}$ est présenté ci-dessous.

On ne trouve pas de recommandation dans le document EC3-1-2 sur la vérification contre le flambement de l'âme de cisaillement dans le feu. Dans ce cas, la vérification est effectuée conformément aux sections transversales 5.1-5.3 de la norme EN 1993-1-5 avec une limite d'élasticité et un module d'Young réduits en raison de la température élevée de l'acier (EC3-1-2). En outre, les résultats des recherches d'André Reis, Nuno Lopes, Paulo Vila Real sont également pris en compte par cette vérification (A. Reis, N. Lopes et P. Vila Real: *Étude numérique de poutres en tôle d'acier soumises à une charge de cisaillement à des températures élevées*, Journal of Constructional Steel Research, 117 (2006) 1-12).

Sections transversales de classe 1, 2 et 3:

$$V_{b,fi,Rd} = \chi_{w,\theta} h_w t_w \frac{f_y k_{y,\theta}}{\sqrt{3}\gamma_{M_{fi}}}$$

Sections transversales de classe 4:

$$V_{b,fi,Rd} = \chi_{w,\theta} h_w t_w \frac{f_y k_{y,\theta,4}}{\sqrt{3}\gamma_{M_{fi}}}$$

où

$$\chi_{w,\theta} = 1.2 \quad \bar{\lambda}_{w,\theta} < \frac{0.61}{1.2}$$
$$\chi_{w,\theta} = 0.1 + \frac{0.55}{\bar{\lambda}_{w,\theta}} \quad \bar{\lambda}_{w,\theta} \geq \frac{0.61}{1.2}$$
$$\bar{\lambda}_{w,\theta} = \frac{h_w}{37.4 t_w \varepsilon \sqrt{k_\tau}}; \varepsilon = 0.85\sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

Ne vérifier que les modes de défaillance prescrits

Selon les normes EN 1993-1-1, 6.2.6, EN 1993-1-2, 4.2.3.3, 4.2.3.4, annexe E:

Contrôle d'étude élastique (sections transversales de classe 3)

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{el,fi,z,Rd}} \leq 1;\ V_{el,fi,z,Rd} = \frac{I_y \cdot t}{S_y} \frac{f_y k_{y,\theta}}{\sqrt{3}\gamma_{M_{fi}}}$$

Contrôle d'étude élastique (sections transversales de classe 4)

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{el,fi,z,Rd}} \leq 1;\ V_{el,fi,z,Rd} = \frac{I_y \cdot t}{S_y} \frac{f_y k_{y,\theta,4}}{\sqrt{3}\gamma_{M_{fi}}}$$

Sections transversales supportées :

Types de sections transversales ou étude plastique non pris en charge :

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,fi,z,Rd}} \leq 1;\ V_{pl,fi,z,Rd} = A_v \frac{f_y k_{y,\theta}}{\sqrt{3}\gamma_{M_{fi}}}$$

Cisaillement de l'âme-Flexion-Force axiale

Dans le cas des sections transversales en I et en boîte, ce contrôle d'étude de l'interaction est également effectué conformément à la section transversale 7.1 de la norme EN 1993-1-5 et aux sections transversales 6.2.8, 6.2.9 de la norme EN 1993-1-1 avec une limite d'élasticité et un module d'Young réduits en raison de la température élevée de l'acier (EC3-1-2).

Ne vérifier que les modes de défaillance prescrits

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,fi,Rd}} + \left(1 - \frac{M_{f,fi,Rd}}{M_{pl,fi,Rd}}\right) \cdot \left(2\frac{V_{Ed}}{V_{b,fi,,Rd}} - 1\right)^2 \leq 1$$

où $M_{f,fi,Rd}$ est la résistance plastique à la flexion des ailes

Si la *vérification ne porte que sur les modes de défaillance prescrits,* cette vérification d'étude de l'interaction n'est pas effectuée.

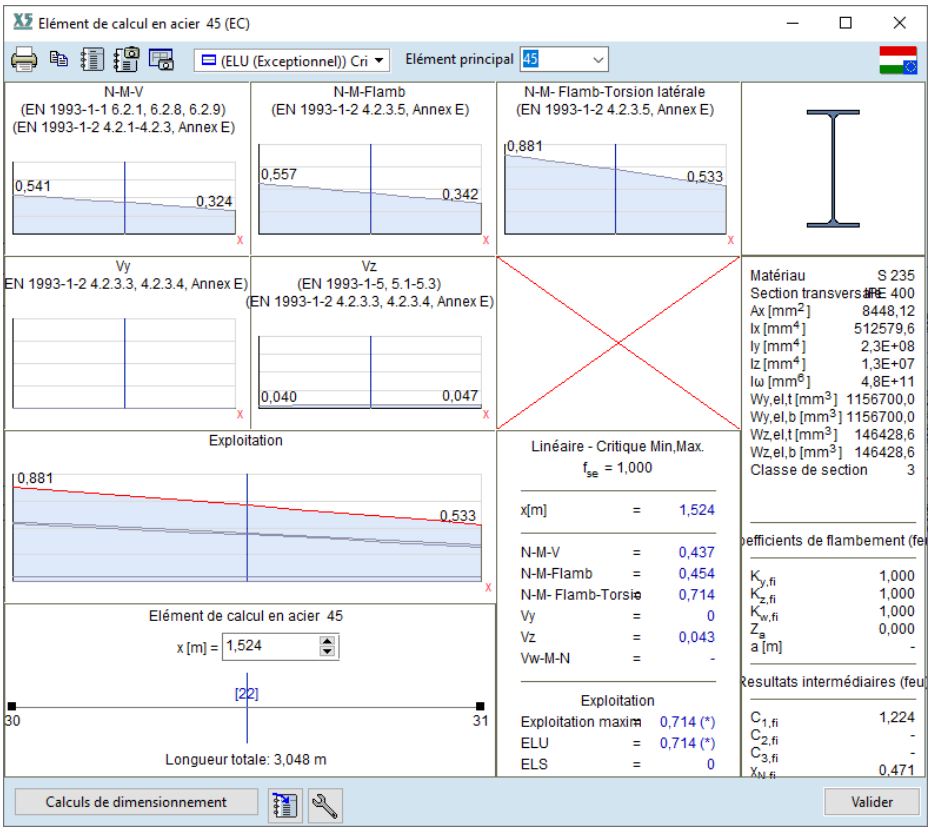
Température critique

Dans de nombreux cas, la température critique (la température de l'acier où se produit la défaillance de l'élément) doit également être déterminée. Par exemple, l'épaisseur du revêtement intumescent de protection contre l'incendie est choisie sur la base du facteur de section transversale (A/V) et de la température critique.

AxisVM peut calculer la température critique pour les modes de défaillance énumérés ci-dessus. La température critique de l'élément est le minimum des températures critiques pour les différents modes de défaillance. La plage étudiée est de 20 à 1000 °C. Ainsi, si AxisVM affiche 20 °C comme température critique dans le cas d'un élément, cela signifie que l'exploitation est élevée et que la sécurité de l'élément contre les défaillances ne peut être confirmée même à température ambiante dans une situation d'étude accidentelle basée sur les réglementations de l'EC3-1-2. Dans ce cas, il est très probable que la résistance n'est pas non plus adéquate dans une situation d'étude persistante. Si AxisVM affiche 1001 °C comme température critique dans le cas d'un élément, cela signifie que l'exploitation est très faible et que la température critique est supérieure à 1000 °C.

Diagrammes

Cliquez sur l'assemblage d'éléments en acier pour afficher les diagrammes de tous les contrôles individuels et leur enveloppe. Les résultats pour n'importe quelle position d'un assemblage d'éléments en acier dans n'importe quel cas de charge ou combinaison peuvent être obtenus en réglant *x ou en* faisant glisser le curseur. Si un contrôle ne peut être effectué avec la section transversale actuelle, le diagramme correspondant est remplacé par une croix.
Si la combinaison choisie ou la combinaison critique contient un cas de charge d'incendie et que l'étude du feu a été effectuée pour l'assemblage d'éléments en acier sélectionné, les coefficients de flambement dans le feu et la température critique sont indiqués.



Calculs d'étude

Cliquez sur le bouton *Calculs d'étude* pour voir les détails d'étude. Le calcul peut être enregistré dans la documentation. En cas d'étude, le type de courbe d'incendie, la température d'étude et la température critique sont également indiqués.

11. Cisaillement(z) (vérification résistance):

EN 1993-1-1: 6.2.6, EN 1993-1-2: 4.2.3.3, 4.2.3.4

Courbe d'incendie: **Courbe d'incendie paramétrique**

Température de dimensionnement θ = 510,65 °C

Section critique: $x = 0{,}00 \cdot L = 0{,}00 \cdot 100{,}00 = 0$ cm

$A_{v,z} = 2 \cdot b \cdot t_f = 13{,}22$ cm²

$$V_{pl,fi,Rd,z} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y \cdot k_{y,\theta}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{MFi}} = \frac{13{,}22 \cdot 23{,}50 \cdot 0{,}747}{\sqrt{3} \cdot 1} = 133{,}99 \text{ kN} \quad (6.18, 4.16)$$

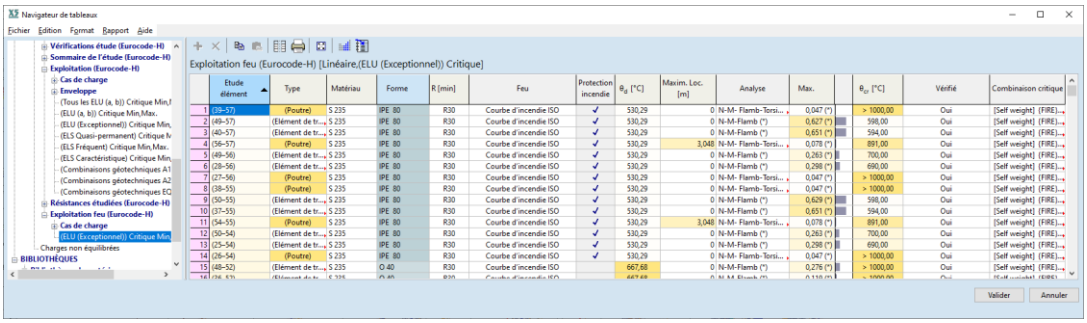
$$\eta_{V_{z,fi}} = \frac{|V_{z,Ed_1}|}{V_{pl,fi,Rd,z}} = \frac{|0|}{133{,}99} = 0\,\% \quad (6.17)$$

Température critique > 1000 °C

vérifié

Tableau des résultats

Parmi les tableaux de résultats, le tableau *exploitation feu* résume les résultats du calcul au feu de l'acier afin de faciliter la communication avec les ingénieurs en sécurité incendie.



Outre les paramètres initiaux de base, les paramètres suivants sont énumérés: durée de résistance au feu requise (par exemple R30), type de courbe de feu sélectionnée, température de l'acier d'étude, mode de défaillance critique, exploitation et température critique.

Optimisation de la section transversale

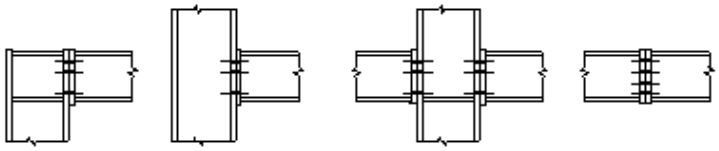
Si le module SD9 est installé, l'optimisation de la section transversale de l'acier peut être effectuée pour les combinaisons de charges qui contiennent un cas de charge d'incendie en respectant les règles d'étude de l'incendie de l'acier. Pendant l'optimisation, la température de l'acier d'étude n'est pas recalculée automatiquement. Pour cette raison, l'exploitation peut être légèrement différente après l'analyse de la configuration structurelle optimisée.
Voir... *6.6.1.4 Optimisation de la section transversale en acier – module SD9*

6.6.3. Étude des assemblages boulonnés des poutres en acier

A partir de la version AxisVM X4, ce module, appelé auparavant SD2, est intégré dans les paquets de base. AxisVM calcule le diagramme moment-courbure, le moment de résistance et la résistance initiale des assemblages boulonnés entre les poteaux et les poutres en acier sur la base de l'Eurocode3 (partie 1.8 Étude des assemblages).

Type de jonctions

Jonctions de poutre à poteau ou de poutre à poutre.



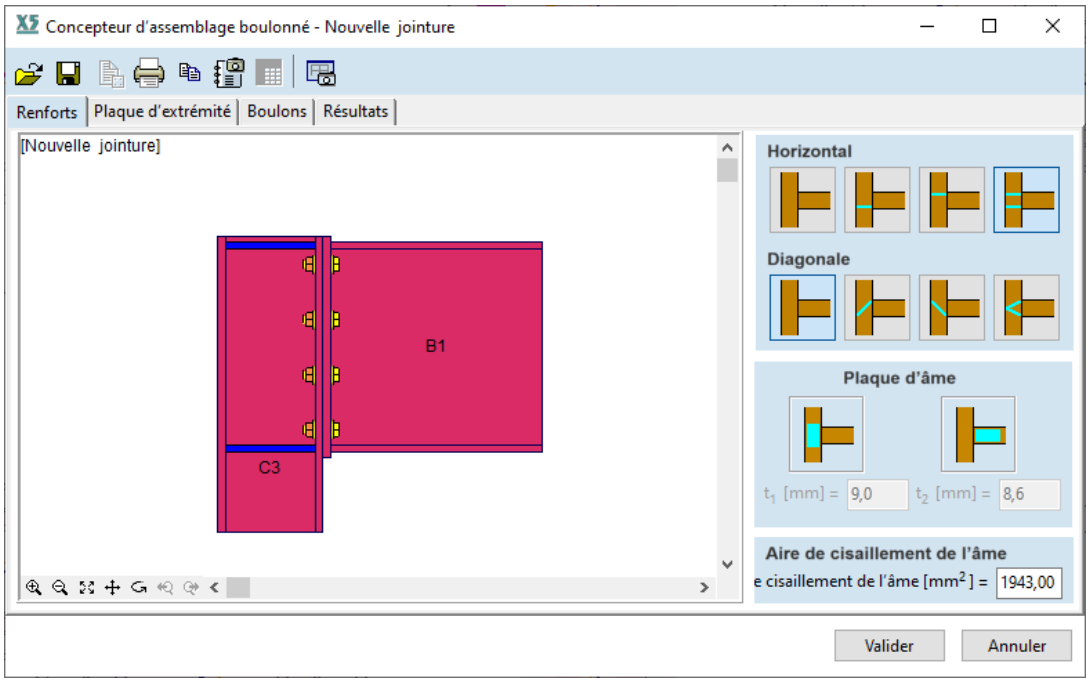
☞ **Hypothèses:**
- Les sections transversales des poutres et des poteaux sont des formes en I laminées ou soudées.
- La plaque d'extrémité de la poutre est reliée à l'aile du poteau.
- La plage d'inclinaison de la poutre est comprise entre ± 30°.
- La classe de section transversale doit être 1, 2 ou 3.
- La force normale dans la poutre doit être inférieure à 0,05* $N_{pl,Rd}$
Le programme vérifie si ces exigences sont remplies.

Les étapes d'étude

Sélectionnez la poutre et l'un de ses nœuds d'extrémité.
(Nous pouvons sélectionner plusieurs poutres en un seul processus si les poutres sélectionnées ont les mêmes propriétés de matériau et de section transversale et si les poteaux connectés ont également les mêmes propriétés de matériau et de section transversale).



Cliquez sur l'icône "*Étude de la jonction*".
L'étude du joint boulonné apparaîtra:

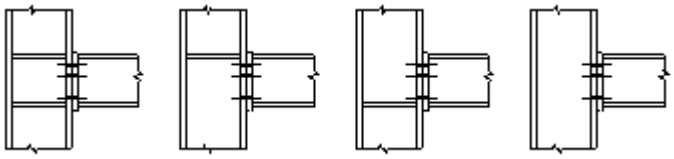


Ce dialogue Cette commande vous permet d'attribuer les paramètres de la jonction en trois étapes.

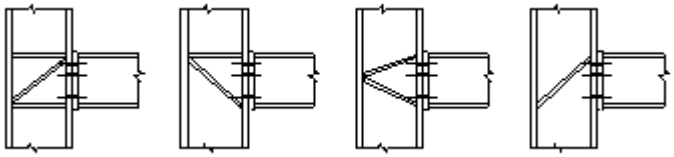
Contreventement

Nous pouvons attribuer des plaques de contreventement horizontales et diagonales et des plaques d'épaississement de l'âme pour augmenter la résistance de la connexion.

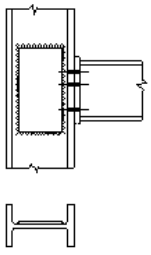
Contreventements horizontaux



Contreventements en diagonale



Plaque d'épaississement de l'âme

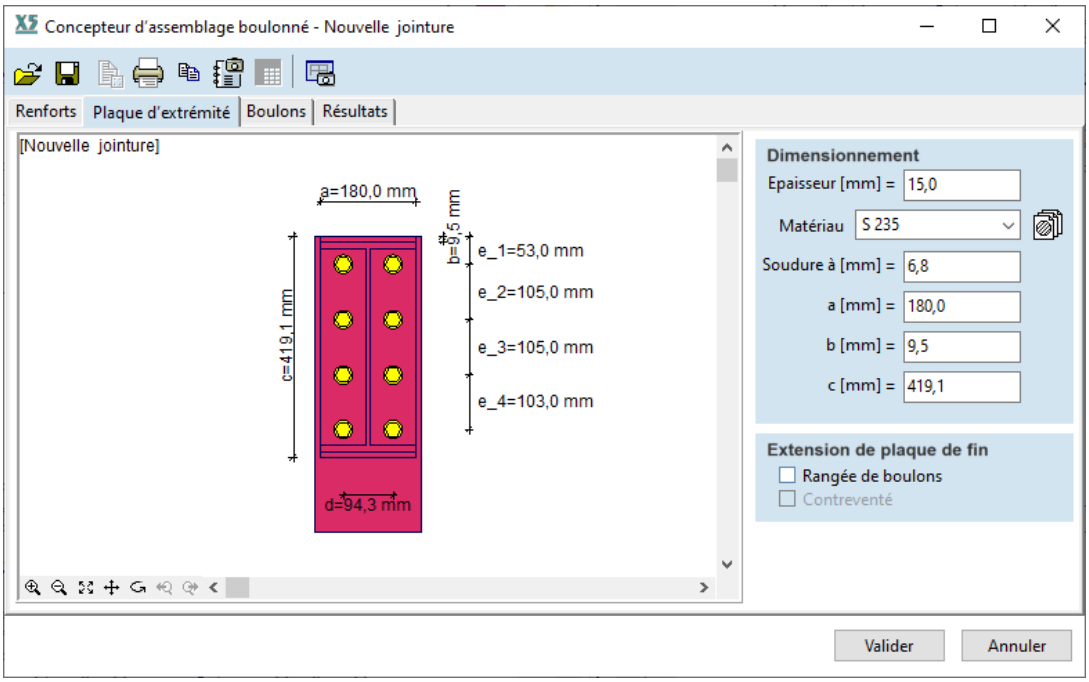


t1: épaisseur de la plaque d'épaississement sur l'âme du poteau
t2: épaisseur de la plaque sur l'âme de la poutre

Zone de cisaillement de l'âme

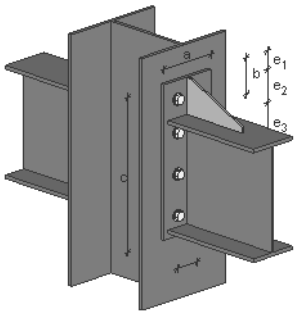
Le programme calcule la surface de cisaillement de l'âme, y compris la surface de la plaque d'épaississement. S'il y a un trou dans l'âme à proximité de la connexion, vous pouvez diminuer cette valeur dans le champ de données en fonction de la taille du trou.

Plaque d'extrémité



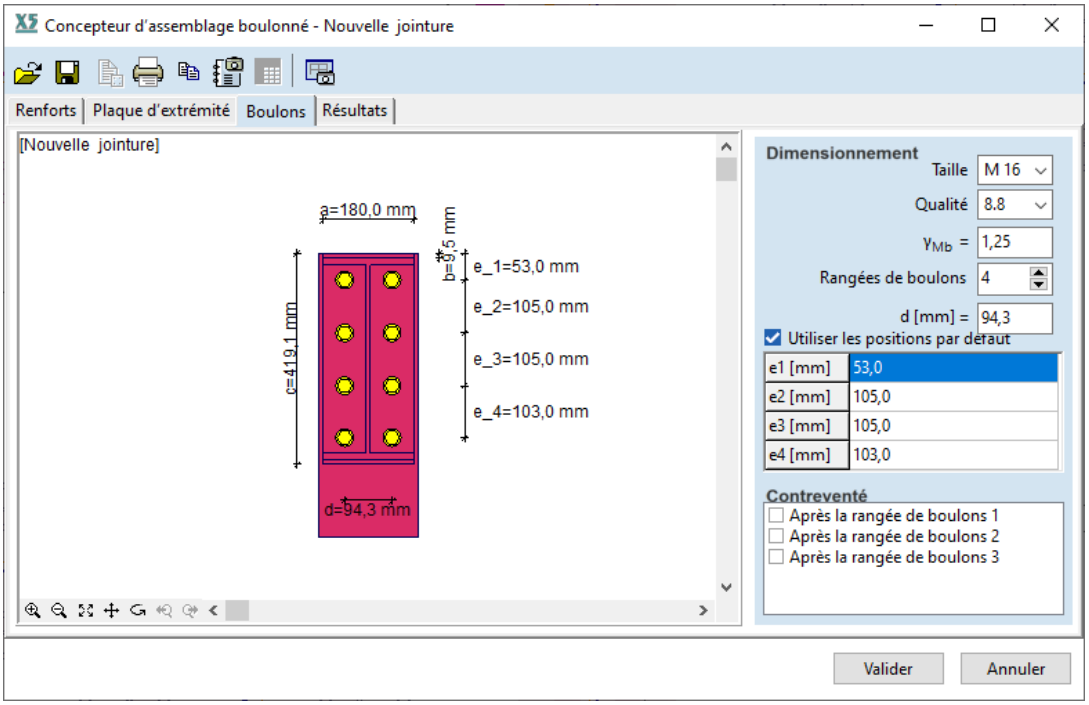
Paramètres de la plaque d'extrémité:

Épaisseur
Matériau
Épaisseur des soudures
Largeur de la plaque d'extrémité (a)
Hauteur de la plaque d'extrémité (c)
Distance entre la face supérieure de l'aile supérieure de la poutre et le haut de la plaque d'extrémité (b)
Boulons dans le prolongement de la plaque d'extrémité



Les rangées de boulons peuvent être affectées à la partie de la plaque d'extrémité qui est soumise à la traction.

Boulons



Le programme place des boulons dans deux colonnes symétriques à l'âme de la poutre. Le même type de boulons est utilisé dans l'assemblage.

Paramètres des boulons : *Taille, Qualité, Coefficient de sécurité des matériaux, Nombre de rangées de boulons, Distance entre les rangées verticales de boulons (d)*

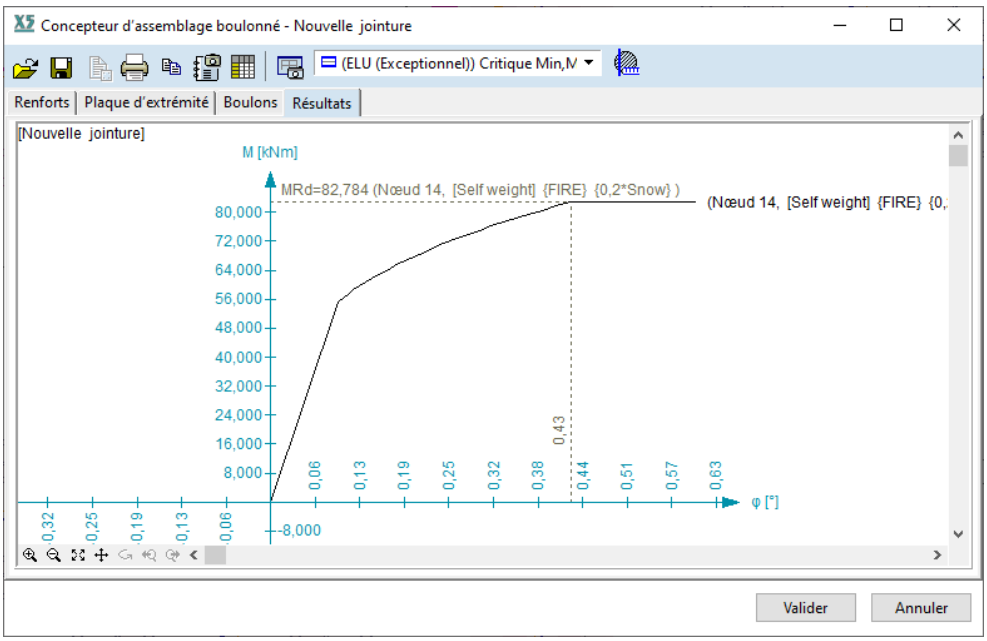
En cas de positionnement automatique des boulons, le programme place les rangées de boulons à égale distance.
Le programme vérifie les distances minimales requises entre les boulons et par rapport au bord des plaques.
Désactivez l'option *Utiliser les positions par défaut* pour placer les rangées de boulons individuellement.

☞ Un message d'erreur apparaîtra si les distances ne sont pas conformes aux exigences.

Les distances minimales des boulons sont vérifiées sur la base de l'EC2: *2,2 d* entre les boulons, *1,2 d à* partir du bord de la plaque et dans la direction perpendiculaire à la force.

Résultats

Lorsque l'on clique sur l'onglet "*Résultats*", AxisVM calcule le diagramme Moment-Courbure, le moment résistant d'étude (M_{rD}) et la solidité initiale de la connexion ($S_{j,init}$).



☞ **Un message d'avertissement apparaîtra si le moment de résistance est inférieur au moment étudié. La méthode de calcul tient compte des forces de cisaillement et des forces normales ainsi que des moments. En conséquence, nous pouvons obtenir différents moments de résistance (M_{rD}) pour une même connexion en fonction des cas de charge (ou combinaisons). C'est pourquoi AxisVM vérifie la condition M_{rD}.M_{sD} dans tous les cas de charge.**

Barre d'Icônes





Chargez les paramètres de jonction.



Sauvegardez les paramètres de jonction. Les paramètres sauvegardés peuvent être chargés et affectés à d'autres jonctions d'extrémité de poutre plus tard.



Liste des jonctions existantes



Imprime le diagramme affiché. Voir... *3.1.12. Imprimer*



Copie le diagramme dans le presse-papiers



Enregistre le diagramme dans les archives



Le tableau des résultats contient les éléments suivants:
- numéro du nœud
- numéro de la poutre
- le nom du cas de charge ou de la combinaison
- Le moment d'étude (M_{sD})
- moment de résistance étudié (M_{rD})
- un résumé des résultats des calculs et des résultats intermédiaires



Sauvegarder dans la bibliothèque des dessins



Paramètres supplémentaires (f_{se} Coefficient pour les forces sismiques, voir... *4.10.24. Charges sismiques - module SE1*)

6.7. Étude bois

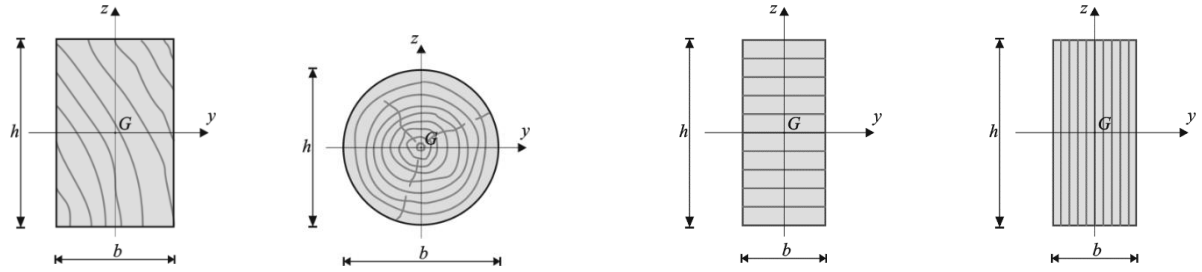


6.7.1. Étude de poutres en bois - module TD1

EUROCODE 5 (EN 1995-1-1:2004)

Le module d'étude des poutres en bois peut être appliqué aux sections transversales et matériaux en bois suivants :

a) Rectangle pour le bois massif, le bois lamellé-collé (Glulam) et le bois de placage lamellé (LVL)
b) Ronde pour le bois massif



Bois massif (bois tendre, bois dur) *Bois lamellé-collé* *LVL*

Propriétés des matériaux

La base de données des matériaux contient les propriétés des matériaux en bois massif, lamellé-collé et LVL conformément à la norme EN correspondante. (Bois massif: EN338, Bois lamellé-collé: EN 1194)

Force caractéristique	*Notation*
Résistance à la flexion	$f_{m,k}$
Résistance à la traction parallèle aux fibres	$f_{t,0,k}$
Résistance à la traction perpendiculaire aux fibres	$f_{t,90,k}$
Résistance à la compression parallèle aux fibres	$f_{c,0,k}$
Résistance à la compression perpendiculaire aux fibres dans la direction y*	$f_{c,90,k,y}$
Résistance à la compression perpendiculaire aux fibres dans la direction z*	$f_{c,90,k,z}$
Résistance au cisaillement perpendiculaire aux fibres dans la direction y*.	$f_{v,k,y}$
Résistance au cisaillement perpendiculaire aux fibres dans la direction z*	$f_{v,k,z}$

**Dans le cas du bois massif et du bois lamellé-collé $f_{v,k,z} = f_{v,k,y} = f_{v,k}$ et $f_{c90,k,z} = f_{c90,k,y} = f_{c90,k}$*

Module d'élasticité	*Notation*
Valeur moyenne parallèle aux fibres	$E_{0,moyen}$
Valeur moyenne perpendiculaire aux fibres	$E_{90,moyen}$
5% de la valeur du module parallèle aux fibres	$E_{0,05}$
Valeur moyenne du module de cisaillement	G_{moyen}

Densité	*Notation*
Valeur caractéristique de la densité	ρ_k
Valeur moyenne de la densité	P_{moyen}

Coefficient de sécurité	*Notation*
Coefficient de sécurité pour le matériau	γ_M

Facteur d'effet de taille	*Notation*
pour le bois LVL	s

Classes de bois

Les éléments en bois doivent avoir une classe de service. La classe de service peut être définie dans les lignes d'éléments dans le dialogue de définition, dans le champ Classe de service. Voir... *4.9.9 Éléments linéaires* Classe de Service (EN 1995-1-1, 2.3.1.3):

Classe de service 1 - où la teneur moyenne en humidité de la plupart des bois résineux ne dépassera pas 12 %. Cela correspond à une température de 20 °C et à une humidité relative de l'air ambiant ne dépassant pas 65 % pendant quelques semaines par an.

Classe de service 2 - où la teneur moyenne en humidité de la plupart des bois résineux ne dépassera pas 20 %. Cela correspond à une température de 20 °C et à une humidité relative de l'air ambiant ne dépassant pas 85 % pendant quelques semaines par an.

Classe de service 3 - où la teneur moyenne en humidité de la plupart des bois résineux dépasse 20 %.

La résistance et les autres propriétés d'étude des matériaux en bois dépendent de la classe de service.

Classes de charge-durée

Le module d'étude du bois nécessite des informations sur la durée de la charge. Ainsi, si un matériau en bois a été défini dans la classe de durée du cas de charge modèle, il peut être saisi. Voie... *4.10.1. Cas de charge, groupes de charges*

Force étudiée

Des composants

Les valeurs de calcul de la résistance sont calculées à partir des valeurs caractéristiques de la résistance selon les formules suivantes :

Dans le cas de $f_{t,90,d}, f_{c,0,d}, f_{c,90,d}, f_{v,d}$ (Bois massif, bois lamellé-collé, bois LVL): $f_d = k_{mod} f_k / \gamma_M$
In case of $f_{m,d}$ (Bois massif, bois lamellé-collé, bois LVL): $f_d = k_{mod} k_h f_k / \gamma_M$
In case of $f_{t,0,d}$ (Bois massif, bois lamellé-collé, bois LVL): $f_d = k_{mod} k_h f_k / \gamma_M$
In case of $f_{t,0,d}$ (bois LVL): $f_d = k_{mod} k_l f_k / \gamma_M$
Où

k_{mod} Est un facteur de modification (EN 1995-1-1, 3.1.3)
k_h Est le facteur de profondeur (EN 1995-1-1, 3.2, 3.3, 3.4)
k_l Est le facteur de longueur pour le bois LVL (EN 1995-1-1, 3.4)
f_k Est la force caractéristique
γ_M Est le coefficient de sécurité du matériau (EN 1995-1-1, Tableau 2.3)

☞ **Les valeurs du facteur k_{mod} peuvent être définies dans la fenêtre Norme sous l'onglet Bois** (voir... *3.3.7 Normes*)

Facteur kh

Les valeurs de résistance caractéristiques $f_{m,k}$ et $f_{t,0,k}$ sont déterminées pour une profondeur de poutre de référence. Dans le cas du bois massif et du bois lamellé-collé, si la profondeur (h) de la section transversale est inférieure à la valeur de référence, la résistance caractéristique est multipliée par le facteur suivant

Bois massif : $k_h = \min\left\{\left(\frac{150}{h}\right)^{0.2}; 1.3\right\}$ (if $\rho_k \leq 700$ kg/m^3)

Bois lamellé-collé : $k_h = \min\left\{\left(\frac{600}{h}\right)^{0.1}; 1.1\right\}$

Dans le cas du bois LVL, si la profondeur (h) de la section transversale n'est pas égale à la valeur de référence, la résistance nominale est multipliée par le facteur suivant.LVL:

$k_h = \min\left\{\left(\frac{300}{h}\right)^{s}; 1.2\right\}$

((où s est l'exposant de l'effet de grandeur, h est la profondeur transversale de la section en mm.)

Les profondeurs de référence pour le bois massif sont de 150 mm, pour le bois lamellé-collé de 600 mm, pour le LVL de 300 mm.

Facteur kl

La valeur de résistance caractéristique $f_{t,0,k}$ du bois LVL est déterminée pour une longueur de poutre de référence. Si la longueur de la poutre n'est pas égale à la longueur de référence, la résistance caractéristique est multipliée par le facteur suivant. $k_l = \min\left\{\left(\frac{3000}{l}\right)^{s/2}; 1.1\right\}$

(où s est l'exposant de l'effet de grandeur).

l Est la longueur de la poutre en mm. Longueur de référence : 3000 mm.

Valeurs de rigidité pour l'analyse

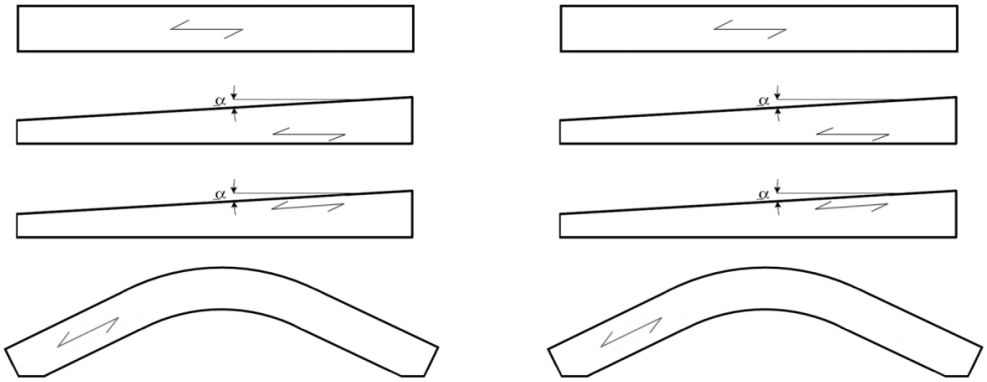
Type d'Analysis	*Module (ELS)*	*Module (ELU)*
Premier ordre, Élastique linéaire	$E_{moyen,fin} = \frac{E_{moyen}}{1 + k_{def}}$	$E_{moyen,fin} = \frac{E_{moyen}}{1 + \psi_2 k_{def}}$
	$G_{moyen,fin} = \frac{G_{moyen}}{1 + k_{def}}$	$G_{moyen,fin} = \frac{G_{moyen}}{1 + \psi_2 k_{def}}$
Second ordre	$E_d = E_{moyen} / \gamma_M$	$E_d = E_{moyen} / \gamma_M$

Élastique linéaire	$G_d = G_{moyen}/\gamma_M$	$G_d = G_{moyen}/\gamma_M$
Fréquence	E_{moyen}, G_{moyen}	E_{moyen}, G_{moyen}

La voie conservative $\psi_2 = 1$ est utilisé.

Hypothèses d'étude

- Il n'y a aucun trou ou autre affaiblissement dans les poutres.
- La constante de section transversale (rectangle, rond) ou la variation linéaire de la profondeur le long de la poutre (poutre biseautée).
- - Les types d'éléments de poutre que le module peut vérifier sont résumés dans la figure ci-dessous.La fibre parallèle à l'axe *x de la poutre*.
- En cas de poutre biseauté, la fibre est parallèle à l'un des bords longitudinaux.
- Le plan de flexion dominant est le plan *x-z de* la poutre (moment autour de l'axe *y).*
- $I_y \geq I_z$
- Dans le cas du lamellé-collé, les laminages sont parallèles à l'axe *y de la* section transversale.
- dans le cas de LVL, les laminages sont parallèles à l'axe *z de la* section transversale.



Vérifications

Force normale de flexion [N-M] *(EN 1995-1-1, 6.2.3, 6.2.4)*
Compression-Flexion- flambement (dans le plan) [N-M-Flamb] *(EN 1995-1-1, 6.3.2)*
Force normale - flexion - flambement torsion latérale - [N-M- flambTL] *(EN 1995-1-1, 6.3.3)*
Cisaillement /y -Torsion /x [Vy-Tx] *(EN 1995-1-1, 6.1.7, 6.1.8)*
Cisaillement (y) - Cisaillement(z) - Torsion (x) [Vy- Vz-Tx] *(EN 1995-1-1, 6.1.7, 6.1.8)*
Moment /y - Cisaillement /z (contrainte de traction perpendiculaire aux fibres) [My-V z] *(EN 1995-1-1, 6.4.3)*

Paramètres calculés

$\lambda_{rel,y}$ Rapport d'élancement relatif (*y*) /dans le plan *z-x de la poutre*/ [Sans Dimension]
$\lambda_{rel,z}$ Rapport d'élancement relatif (*z*) /dans le plan *y-x de la poutre*/ [S.D.]
$k_{c,y}$ Facteur de flambement (instabilité) (*y)* /dans le plan *z-x de la poutre*/ [S.D.] *(EN 1995-1-1, 6.3.2)*
$k_{c,z}$ Facteur de flambement (instabilité) (*z)* /dans le plan *x-y de la poutre*/ [S.D.] *(EN 1995-1-1, 6.3.2)*
k_{crit} Facteur de flambement par torsion latérale [S.D.] *(EN 1995-1-1, 6.3.3)*
k_h Facteur de profondeur [S.D.] *(EN 1995-1-1, 3.2, 3.3, 3.4)*
k_{mod} Facteur de modification [S.D.] *(EN 1995-1-1, 3.1.3)*
$\sigma_{t,90,d}$ (Contrainte de traction perpendiculaire aux fibres) [N/mm2] *(EN 1995-1-1, 6.4.3)*

☞ **AxisVM effectue uniquement les contrôles suivants. Toutes les autres vérifications spécifiées dans le code d'étude comme les appuis, les jonctions, etc. doivent être effectuées par l'utilisateur.**

Flexion par Force normale

La valeur étudiée de la force normale peut être la traction ou la compression.
Traction et moment (EN 1995-1-1, 6.2.3)

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$
$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

Compression et moment (EN 1995-1-1, 6.2.4)

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

Où $k_m = 0.7$ en cas de section transversale rectangulaire, $k_m = 1$ dans tous les autres cas.

Flambement par moment / compression

(EN 1995-1-1, 6.3.2)

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

Où,

$k_{c,y}$ Facteur de flambement (instabilité) (*y)* /dans le plan *z-x de la poutre/* (EN 1995-1-1, 6.3.2)

$k_{c,z}$ Facteur de flambement (instabilité) (*z)* /dans le plan *x-y de la poutre/* (EN 1995-1-1, 6.3.2)

En cas de traction, la $f_{c,0,d}$ est remplacé par $f_{t,0,d}$ et $k_{c,y} = k_{c,z} = 1$

Flexion par Force normale

Flambement latéral par torsion

Pour le flambement latéral par torsion, vérifiez les hypothèses du programme selon lesquelles la poutre se plie dans le plan *z-x* (autour de l'axe *y).* Si lors d'une déformation simultanée M_z moment sur la poutre et la contrainte de compression provenant de M_z atteignent les 3 % de la $f_{c,0,d}$ un message d'avertissement apparaît.

Flexion uniquement (EN 1995-1-1, 6.3.3)

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} f_{m,d}} \leq 1$$

Compression et moment (EN 1995-1-1, 6.3.3)

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} f_{m,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{cd}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} \leq 1$$

Traction et flexion

En cas de faible traction et de flexion, un flambement en torsion latéral peut se produire, mais il n'y a pas de règle dans l'EC5 pour ce cas.

Le contrôle conservatif suivant est utilisé.

$$\frac{|\sigma_{mt,d}|}{k_{crit} f_{m,d}} \leq 1;$$

$$\sigma_{mt,d} = \frac{M_d}{W_y} + \frac{N_d}{A} < 0$$

Où k_{crit} est le facteur de flambement latéral selon les modalités suivantes

$\lambda_{rel,m} \leq 0.75$	$k_{crit} = 1$
$0.75 < \lambda_{rel,m} \leq 1.4$	$k_{crit} = 1.56 - 0.75 \cdot \lambda_{rel,m}$
$1.4 < \lambda_{rel,m}$	$k_{crit} = 1/\lambda_{rel,m}^2$

Torsion de cisaillement

Il n'y a pas de règle dans EC5 pour le cas d'une force de cisaillement et d'un moment de torsion simultanés.

Dans ce cas, le programme utilise la formule d'interaction selon la norme DIN EN 1995-1-1/les Annexes Nationales:2010.

Cisaillement(y) , cisaillement(z) et torsion

$$\max\left[\frac{\tau_{v,y,d}}{f_{v,d}}; \frac{\tau_{v,z,d}}{f_{v,d}}; \frac{\tau_{tor,d}}{k_{shape} f_{v,d}} + \left(\frac{\tau_{v,y,d}}{f_{v,d}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{v,z,d}}{f_{v,d}}\right)^2\right] \leq 1$$

Où,

k_{forme} Est un facteur pour la forme de la section transversale.

Pour une section transversale ronde $k_{forme} = 1.2$,

pour une section transversale rectangulaire $k_{forme} = \min\{1 + 0.15 \cdot h/b\,;\, 2.0\}$

Cisaillement par moment

Dans le cas de poutres courbes, le programme vérifie la contrainte de traction perpendiculaire aux fibres des forces M_y et Vz. (EN 1995-1-1, 6.4.3.)

Moment(*y*)-Cisaillement(*z*)

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} + \frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} k_{vol} f_{t,90,d}} \leq 1$$

k_{dis} Est un facteur qui prend en compte l'effet de la distribution de la contrainte dans la zone apex ($k_{dis} = 1.4$ pour les poutres courbes)

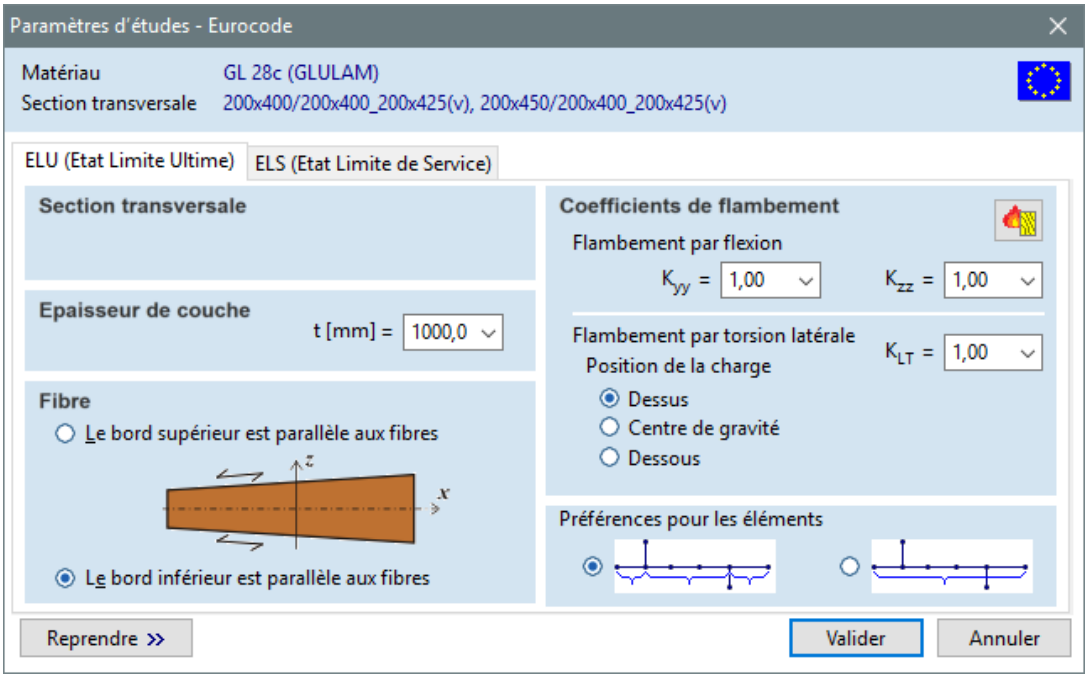
k_{vol} Est un facteur de volume $k_{vol} = [V_0/V]^{0.2}$

6.7.1.1. Paramètres de conception de l'ELS

Paramètres d'étude

Pour l'étude basée sur l'Eurocode 5, les paramètres d'étude suivants doivent être définis et attribués aux assemblages d'éléments:





Section transversale

-Pour la conception du bois, il est possible de définir une section transversale différente de la section transversale originale utilisée pour le calcul statique. Si la taille de la section transversale est modifiée, les contrôles de conception seront effectués pour les forces internes originales, mais avec la taille de la section transversale modifiée. De même, en cas de conception pour le feu, les facteurs de réduction du feu originaux sont utilisés(voir... *6.7.2 Étude au feu de poutres en bois - module TD8*). Lors de la visualisation des résultats, un élément de conception modifié est indiqué par un * après le nom de la section, afin de le distinguer de la section originale. Dans le menu déroulant, on peut choisir parmi les sections transversales disponibles dans le projet.



En cliquant sur cette icône, nous pourrons charger d'autres sections transversales à partir de la *bibliothèque de sections transversales* ou en définissant une forme paramétrique. Sur le côté droit de cette icône, les tailles des sections transversales d'origine sont affichées.



En cliquant sur l'icône Remplacer les sections transversales, vous mettez à jour la section transversale réelle des éléments sélectionnés en fonction de la section transversale saisie dans la boîte de dialogue Paramètres de conception.

Épaisseur de la couche

Dans le cas du bois lamellé-collé (Glulam), l'épaisseur d'une couche doit être définie.

Fibre

Défini la direction des fibres en cas de poutre en biseau. La direction des fibres peut être parallèle au bord supérieur ou au bord inférieur. Le bord supérieur se trouve dans la direction +z de la section transversale.

Paramètres de stabilité

Flambement

K_y, K_z: facteurs de longueur de flambement correspondant respectivement aux axes *y* et *z*.

$$K_y = l_{ef,y}/l\,; \quad K_z = l_{ef,z}/l$$

Où l est la longueur de l'élément
$l_{ef,y}$ Est la longueur de flambement dans le plan *x-z du* membre
$l_{ef,z}$ Est la longueur de flambement dans le plan *x-y du* membre

Flambement latéral en torsion

K_{LT}: facteurs de longueur de flambement latéral correspondant à l'axe *z*.

$$K_{LT} = l_{ef}/l$$

Où l est la longueur de l'élément

l_{ef} Est la longueur de flambement latéral de l'élément correspondant à l'axe *z*.

Lorsque la charge n'est pas appliquée au centre de gravité, le programme modifie la longueur de flambement latéral en fonction de ce qui suit :

- si la charge est appliquée sur le bord de compression de l'élément, la l_{ef} est augmenté de $2h$
- si la charge est appliquée sur le bord de tension de l'élément, la valeur l_{ef} est diminué de $0.5h$

Valeurs communes du facteur K_{LT}.
(Certaines de ces valeurs se trouvent dans la norme EN 1995-1-1, tableau 6.1)

Type de chargement (charge directe)	*La répartition du moment My entre les appuis latéraux*	*Condition d'appui latéral (dans le plan x-y)*
		○——○
p_z		0.9
F_z		0.8
F_z F_z ¼ ½ ¼		0.96
p_z		0.42
F_z		0.64

Type de chargement (charge directe)	*La répartition du moment My entre les appuis latéraux*	*Condition d'appui latéral (dans le plan x-y)*
		○——○
M M		1.0
M ½ M		0.76
M 0		0.53
M ½ M		0.37
M M		0.36

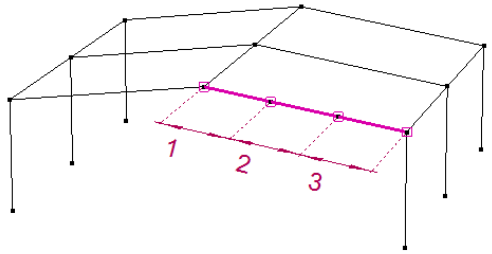
Type de chargement (porte à faux)	*distribution du moment My*	*Condition d'appui latéral (dans le plan x-y)*
		⊢——
p_z		0.5

F_z		0.8

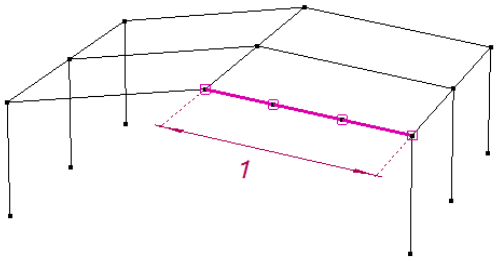
Assemblage d'éléments

L'étude est effectuée sur des assemblages d'éléments qui peuvent être constitués d'un ou plusieurs éléments finis (poutres et/ou nervures). Un groupe d'éléments finis ne peut devenir un assemblage d'éléments que si les éléments finis du groupe satisfont à certaines exigences vérifiées par le programme : être situés sur la même ligne droite ou le même arc, avoir le même matériau, la même section transversale et avoir des systèmes de coordonnées locales communs.
Le programme prévoit deux méthodes pour définir les assemblages d'éléments comme suit:

Tout nœud d'un ensemble de sélection d'éléments finis où un autre élément fini est connecté deviendra un point final d'un assemblage d'éléments dans l'ensemble de sélection d'éléments finis.



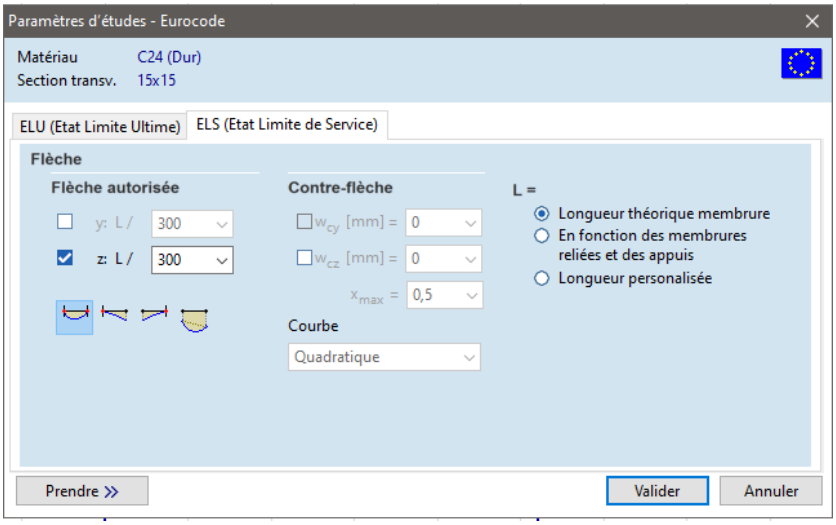
Les éléments finis de l'ensemble sélectionné ne deviennent qu'un seul assemblage d'éléments, indépendamment des autres éléments finis qui se connectent à ses nœuds.



6.7.1.2. Paramètres de conception du SLS

Les paramètres des contrôles de l'état limite de service (ELS) peuvent être définis dans l'onglet ELS de la fenêtre Paramètres d'étude. Le programme vérifie les déflexions des poutres
Les paramètres requis et le type de contrôle de l'ELS selon l'Eurocode et les normes suisses (SIA) sont différents.

Paramètres Eurocode



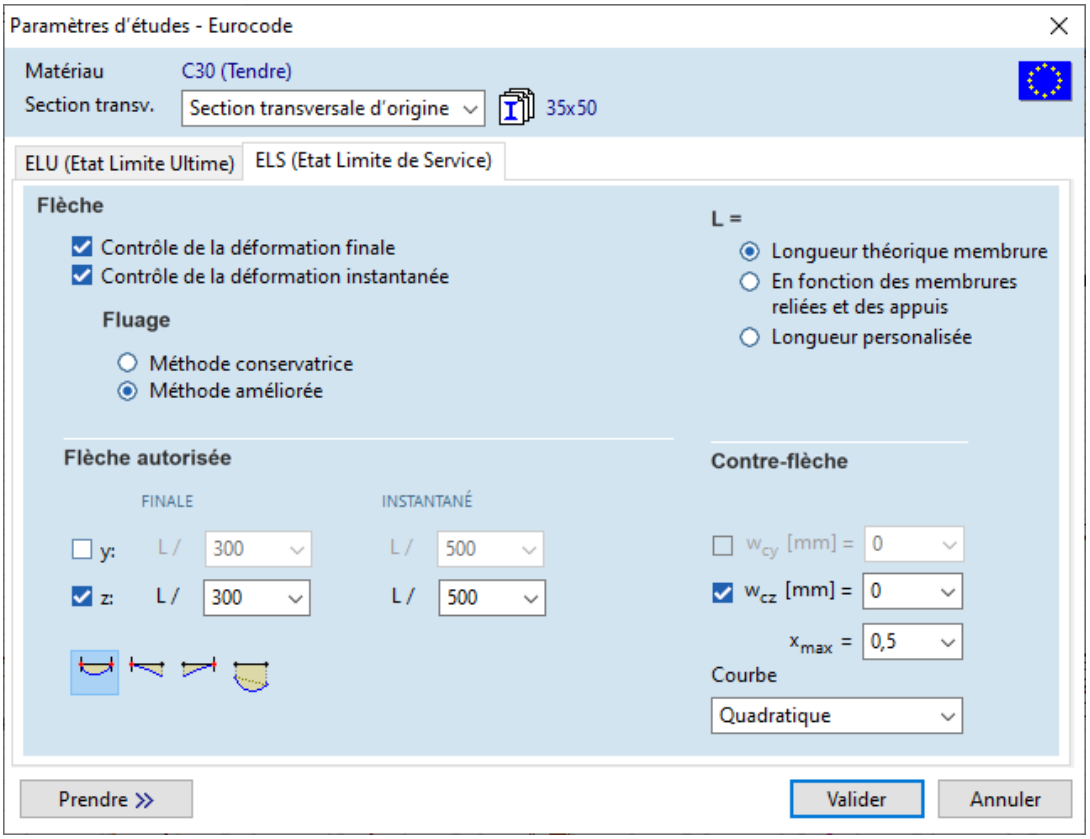
Dans le cas de la norme Eurocode, la déformation finale (ufin) et la déformation instantanée peuvent être vérifiées par le module. Cette vérification n'est disponible que pour les résultats d'un calcul statique linéaire.
Dans l'analyse statique, le module d'élasticité est diminué (divisé par la valeur de 1+ k_{def}) en tenant compte de l'effet du fluage. Le contrôle ELS est basé sur les résultats de l'analyse statique, mais les valeurs de déformation sont déterminées par les éléments suivants :

- - Déformation instantanée : les résultats du résultat statique sont divisés par (1+ k_{def}) (une autre analyse statique avec un module d'élasticité à court terme n'est pas exécutée).
- - Le calcul de la valeur exacte de la déformation finale (en tenant compte des éléments ayant des valeurs de fluage différentes et de l'effet de la rigidité des éléments structurels de connexion) conduirait à des solutions compliquées dans de nombreux cas. Deux analyses statiques différentes seraient nécessaires (pour les charges à court et à long terme avec l'effet du fluage) pour combiner les résultats du déplacement. En guise d'approximation, le module propose deux solutions différentes détaillées ci-dessous :

  a) a) Dans le cas de la *méthode conservative*, la déformation finale est déterminée par la combinaison caractéristique ELS et les résultats de déplacement de l'analyse statique (avec le module d'élasticité abaissé) sont considérés comme la valeur finale de la détermination. Cette méthode conservatrice est basée sur la recommandation du livre : Jack Porteous : Structural Timber Design to Eurocode 5. Cette solution approche la valeur exacte de la déformation du côté sûr en raison de la combinaison caractéristique appliquée.

  b) b) Dans le cas de la *méthode corrigée*, la déformation finale est recalculée. Le module effectue un calcul de correction en utilisant les résultats statiques existants mais en tenant compte des effets à court et à long terme des charges. Le résultat est calculé par la somme des résultats de déformation de chaque cas de charge en tenant compte des facteurs de combinaison correspondants.
  Ce nouveau calcul est effectué pour chaque élément de conception séparément sans nouvelle analyse statique. Pour cette raison, cette méthode est également une approximation mais elle donne une meilleure approximation par rapport au résultat de *la méthode conservatrice*
  Le recalcul ne peut être exécuté que sur des combinaisons de charges caractéristiques ou sur des cas de charges simples. Dans le cas d'une combinaison de charges personnalisée, le facteur 0 provient des facteurs de la combinaison de charges donnée pour les charges variables (cela signifie que le facteur donné doit être compris entre 0 et 1. Le facteur de combinaison 2 est extrait des propriétés du groupe de charges de la charge variable.

Paramètres SIA



Dans le cas de la norme SIA (Suisse), la déformation finale (u_{fin}) et les conditions d'utilisation détaillées ci-dessous peuvent être vérifiées. Cette vérification n'est disponible que pour le calcul statique linéaire. Différents critères de déformation peuvent être définis pour chaque vérification.

- Pour obtenir la valeur de la déformation finale, le déplacement résultant de l'analyse statique est multiplié par le facteur de φ+1. La vérification est interprétée pour une combinaison de charges quasi-permanentes.
- Les trois conditions d'utilisation suivantes peuvent être vérifiées par le module (une seule de ces conditions peut être demandée). Les vérifications suivent les exigences du tableau 3 de la norme SIA 260 : 2013. Le résultat est calculé par la somme des résultats de déformation de chaque cas de charge en tenant compte des facteurs de combinaison recalculés. Ce nouveau calcul est effectué pour chaque élément de conception séparément, sans nouvelle analyse statique. Pour cette raison, elle ne peut être considérée que comme une méthode approximative.

  a) Raccord à comportement fragile ;
  Le contrôle ne peut être interprété que pour la combinaison de charges caractéristiques SLS. La structure peut être considérée comme soutenue ou non soutenue. Dans le cas d'une structure soutenue, la déformation due aux charges permanentes se produit après l'installation des raccords. (Non soutenue signifie que la déformation due aux charges permanentes se produit avant l'installation des raccords.)

  b) Raccord à comportement ductile ;
  Le contrôle ne peut être interprété que pour une combinaison de charges fréquentes SLS. La structure peut être considérée comme soutenue ou non soutenue. Dans le cas d'une structure soutenue, la déformation due aux charges permanentes se produit après l'installation des raccords (non soutenue signifie que la déformation due aux charges permanentes se produit avant l'installation des raccords)

  c) *Utilisation et fonctionnement :*
  Le contrôle ne peut être interprété que pour une combinaison de charges fréquentes.

☞ **Si les combinaisons de charges critiques sont générées automatiquement, la vérification du ELS est effectuée sur la base du type de combinaisons ELS requis par le code de conception.**

Les déformations peuvent être vérifiées selon les directions de l'axe local *z* ou *y de l*'assemblage d'éléments en bois. La vérification dans chaque direction peut être activée ou désactivée en cochant la case située devant les valeurs limites. Les valeurs limites de déflexion sont fixées en fonction de la longueur (*L*) détaillée ci-dessous.



Les déviations peuvent être considérées de plusieurs façons : sur la base des déplacements réels ou sur la base des déplacements relatifs uniquement à la gauche, uniquement à la droite ou aux deux extrémités de l'assemblage d'éléments

Longueur (L)

Les déformations d'un assemblage d'éléments et les limites de déformation (par exemple *L/300*) sont basées sur l'une des valeurs de longueur suivantes :

Longueur de l'assemblage d'éléments : L est égal à la longueur de l'assemblage d'éléments ;

Basé sur les éléments de liaison et les appuis : si le paramètre *Créer des assemblages d'éléments* dans l'onglet ELU est réglé sur la première option, alors cette longueur est égale à la longueur de l'assemblage d'éléments, et donc à la longueur ci-dessus. S'il est réglé sur la deuxième option (les éléments sélectionnés sont cochés comme un assemblage d'éléments), le programme recherche les appuis ou les éléments de connexion le long de l'assemblage d'éléments dans la direction de la vérification de la déflexion qui peuvent empêcher la déflexion de l'assemblage et définit des segments entre ces nœuds supportés. Le contrôle ELS est effectué pour chaque segment. Par exemple, si une poutre de 15 m de long a des poteaux d'appui aux extrémités et à un tiers de la poutre, le programme effectue des contrôles ELS séparément pour le premier segment de 5 m et le segment restant de 10 m de la poutre.

Longueur personnalisée : toute valeur peut être définie.

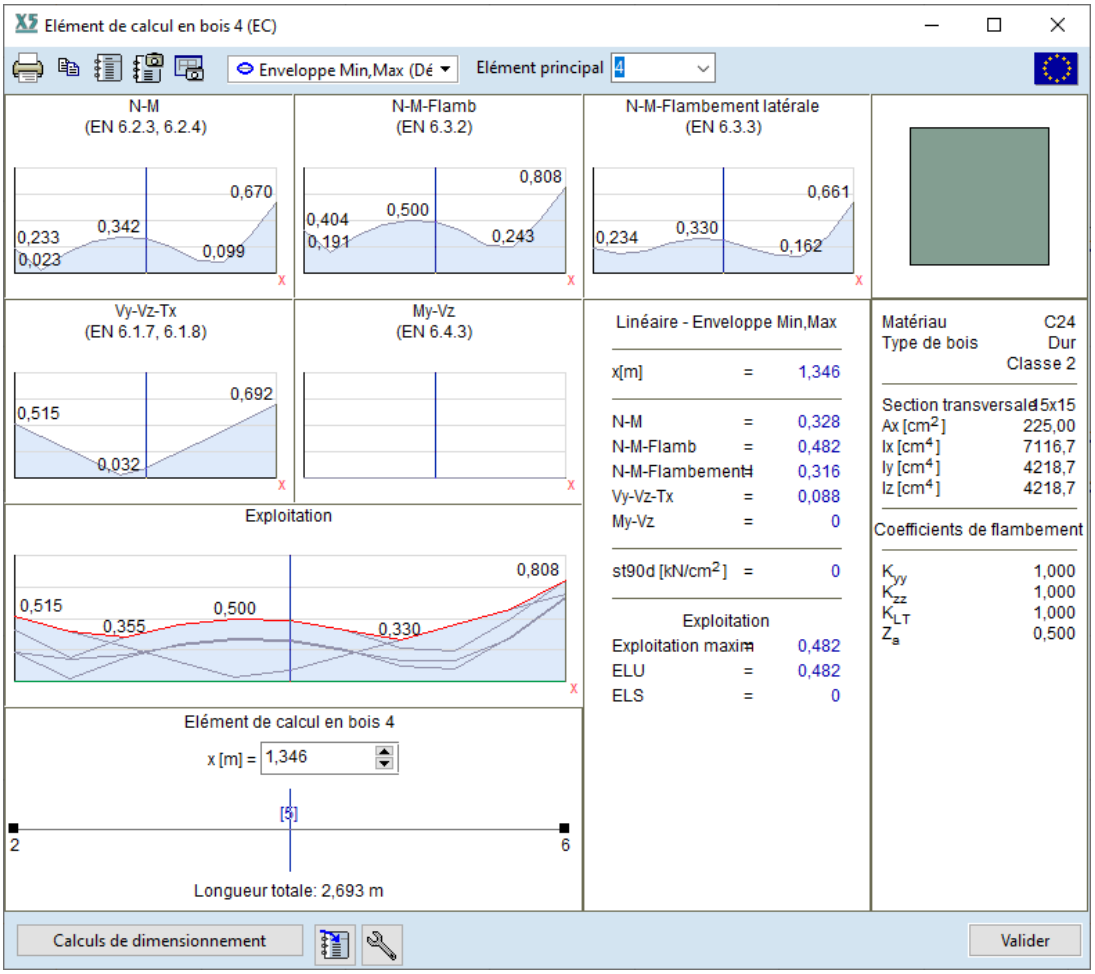
Contre-flèche

La contre-flèche peut être défini pour les assemblages d'éléments, où les valeurs de contre-flèche (*wcz* et *wcy*) sont définies en coordonnées locales. La forme de la contre-flèche peut être définie avec trois paramètres : des courbes linéaires ou du second ordre peuvent être choisies, la valeur maximale (*w*) et son emplacement le long de l'élément (*xmax)* doivent également être définis. Si la déflexion est basée sur des déplacements réels (par exemple, seule une section transversale d'une poutre est sélectionnée comme assemblage d'éléments), alors les valeurs de la contre-flèche sont constantes sur la longueur. Si la longueur *L* est fixée à la longueur de l'assemblage d'éléments ou à une longueur personnalisée, la contre-flèche est nulle aux extrémités des assemblages. Si l'option *Basé sur les éléments de liaison et les appuis* est sélectionnée, la contre-flèche sera nulle aux extrémités et aux nœuds supportés dans la direction concernée.

☞ **Il est important de noter que la valeur de la contre-flèche définie ici n'a d'effet que dans les contrôles ELS, réduisant la déflexion calculée précédemment sur la base de la forme originale.**

Diagrammes de résultats

En cliquant sur un assemblage d'élément, le programme affiche les diagrammes correspondant à tous les contrôles.



Calculs d'étude

En cliquant sur le bouton "*Calculs d'étude*", un rapport des détails du calcul peut être affiché. Tous les contrôles de résistance et de stabilité apparaissent sous la forme de formules complétées par des valeurs réelles substituées et des références au code d'étude.



Cliquer sur l'icône *Paramètres* à côté du bouton *Calculs d'étude* permet de définir les unités de base pour la force et la longueur utilisées dans les calculs d'étude. Des résultats importants apparaissent également convertis en unités AxisVM standard (voir... *3.3.8. Unités et formats*). Pour plus de détails, voir... *6.6.1. Étude des poutres en acier selon l'Eurocode 3 - module SD1*.

6.7.2. Étude au feu de poutres en bois - module TD8

Normes

AxisVM effectue le dimensionnement au feu du bois selon de nombreux codes nationaux. Dans le cas des Annexes Nationales des Eurocodes qui ne sont pas énumérées ci-dessous, les règles générales de la norme *EN 1993-1-2* sont prises en compte.

Eurocode	*EN 1995-1-2 Eurocode 5: Design of timber structures Part 1-2: General - Structural fire design*
CE Allemand	*DIN EN 1995-1-2:2010-12 les Annexes Nationales*
CE Hungrois	*MSZ EN 1995-1-2:2013 les Annexes Nationales*
CE Roumain	*SR EN 1995-1-2:2004/Ac:2006*
CE Tchèque	*CSN EN 1995-1-2/les Annexes Nationales 2011*
CE Slovaque	*STN EN 1995-1-2:2008/les Annexes Nationales:2011*
CE Aglais	*BS EN 1995-1-2:2004 les Annexes Nationales*
CE Hollandais	*NEN EN 1995-1-2/NB:2016*
CE Finlandais	*SFS-EN 1995-1-2:2004 les Annexes Nationales*

Étude des structures en bois en fonction du feu selon la norme EN 1995-1-2

L'étude au feu de poutres en bois (module TD8) est basée sur les méthodes d'étude générale des poutres en bois (module TD1 ; voir... *6.7.1 Étude de poutres en bois - module TD1*), le **module TD1 est donc une condition préalable à l'exploitation du TD8**.
La norme EN 1995-1-2 (EC5-1-2) traite d'étude des structures en bois en cas d'incendie. Cette section décrit les différences entre l'étude générale et l'étude au feu.
L'étude de feux de poutres en bois peut être effectuée dans AxisVM si:
1) la combinaison de charge sélectionnée comprend un cas de charge d'incendie (voir... *4.10.1. Cas de charge, groupes*)
2) si un effet du feu a été attribué à l'un des éléments sélectionnés (voir... *4.10.32 Effet du feu sur les éléments linéaires en bois - module TD8*) dans ce cas de charge d'incendie.
Si des effets de feu différents ont été attribués à des éléments d'un assemblage d'éléments, l'étude du feu ne peut pas être effectuée et un message d'erreur apparaît.
Pour les éléments sélectionnés sans effet de feu, l'étude générale du bois sera effectuée. Les paramètres d'étude du feu de bois doivent également être attribués aux éléments (voir ci-dessous).

Analyse des éléments

L'EC5-1-2 aborde différentes méthodes : analyse des éléments, analyse d'une partie de la structure et analyse de la structure entière. L'analyse des éléments est la méthode de vérification la plus répandue en raison de sa simplicité. L'analyse d'une partie ou de l'ensemble de la structure nécessite généralement des projets numériques non linéaires complexes et une analyse statique non linéaire.

Principes directeurs de l'analyse des membres selon l'EC5-1-2:

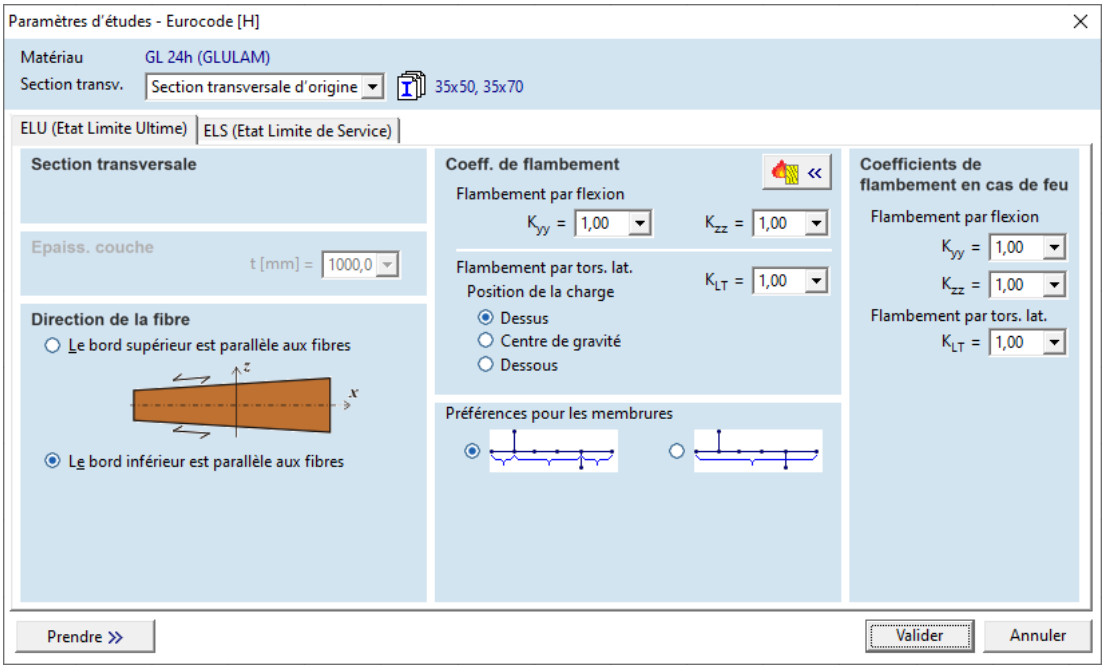
- Les forces internes des assemblages d'éléments peuvent être calculées à l'aide d'une analyse statique linéaire ;
- On peut supposer que les conditions aux limites des appuis sont constantes dans le temps. (EC5-1-2, 2.4.2 (4)).

Le module TD8 effectue l'analyse des éléments. Il faut vérifier si la structure/la partie structurelle peut être vérifiée avec l'analyse des éléments selon les directives de l'EC5-1-2.

Paramètres d'étude des feux de bois



L'étude de l'incendie basée sur l'EC5-1-2 nécessite des paramètres d'étude de l'incendie définis et attribués aux éléments de structure. Ce bouton n'est disponible que si 1) le module TD8 fait partie de la configuration et 2) le code d'étude actuel prend en charge l'étude des feux de bois. Le bouton ajoute un panneau supplémentaire sur le côté droit. S'il reste caché, l'étude incendie de l'élément ne sera pas effectuée.



Coefficients de flambement dans le feu

Il est possible de définir différents coefficients de longueur de flambement dans le feu car la déflexion de l'élément est souvent empêchée par d'autres éléments qui peuvent perdre leur rigidité ou leur résistance dans un laps de temps plus court. La définition/calcul de la longueur de flambement est la même que dans le cas d'une étude à température normale.

Méthode de la section transversale réduite

L'EC5-1-2 propose deux méthodes différentes pour calculer la résistance mécanique au feu :

- Méthode de la section transversale réduite,
- Méthode des propriétés réduites.

Dans le logiciel, la méthode de la section transversale réduite est mise en œuvre. Dans un premier temps, la profondeur de carbonisation dite efficace est calculée de la manière suivante en utilisant la profondeur de carbonisation théorique ($d_{char,n}$voir... *4.10.32. Effet du feu sur les éléments linéaires en bois - module TD8)*

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 d_0$$

où $d_0 = 7\text{mm}$, k_0 est un coefficient

La section transversale est réduite avec cette profondeur de carbonisation efficace sur les côtés exposés. Cette section transversale réduite est appelée section transversale efficace.

Contrôles d'étude dans le feu

Le module TD8, tout comme le module TD1, effectue les contrôles d'étude suivants :

Force axiale de flexion [N-M]	*(EN 1995-1-1, 6.2.3, 6.2.4)*
Compression-Flexion-Flambement (dans le plan) [N-M-Flamb]	*(EN 1995-1-1, 6.3.2)*
Force axiale - flexion - flambement torsion latérale - [N-M- flamb TL]	*(EN 1995-1-1, 6.3.3)*
Cisaillement (y) - Cisaillement(z) - Torsion (x) [Vy- Vz-Tx]	*(EN 1995-1-1, 6.1.7, 6.1.8)*
Moment /y - Cisaillement /z (contrainte de traction par rapport au grain) [My-V z]	*(EN 1995-1-1, 6.4.3)*

Les détails du calcul sont présentés dans la section transversale précédente (voir... *6.7.1 Étude de poutres en bois - module TD1*), nous notons donc que les différences dans cette section transversale :

1. Tenue en compte des différentes forces en présence,
2. Tenue en compte des différents paramètres de stabilité

Calcul de la résistance du bois

Selon la norme EC5-1-2, la résistance du bois est calculée de la manière suivante :

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \frac{f_{20}}{\gamma_{M,fi}}$$

$$f_{20} = k_{fi} f_k$$

Où

f_{20} Est la force fractile de 20% à température normale

$k_{mod,fi} = 1$ Est le facteur de modification pour le feu

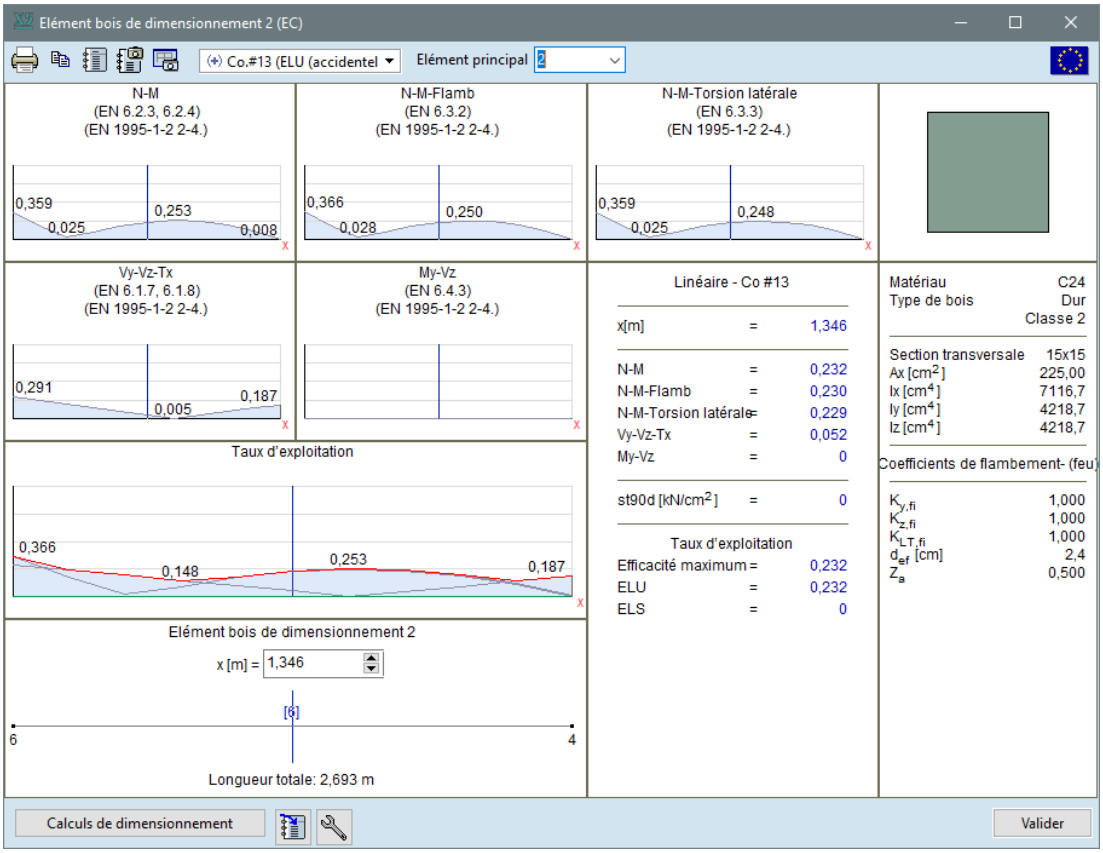
k_{fi} *Est un coefficient,* $\gamma_{M,fi}$ *est un coefficient de sécurité*

Contrôles de stabilité

La longueur de flambement ($K_{y,fi}$ *et* $K_{z,fi}$) et le *coefficient de longueur de flambement en torsion latérale* ($K_{LT,fi}$) *donnés dans la* fenêtre des paramètres d'étude *sont utilisés pour évaluer les résistances au flambement en flexion et au flambement en torsion latérale.*

Diagrammes de résultats

Cliquez sur un assemblage d'éléments en bois pour afficher les diagrammes de tous les contrôles individuels et leur enveloppe. Les résultats pour toute position d'un assemblage d'éléments en bois dans tout cas de charge ou combinaison peuvent être obtenus en définissant *x ou en* faisant glisser la ligne de suivi. Si le contrôle d'étude ne peut pas être effectué avec la section transversale actuelle, le diagramme est remplacé par une croix.
Si la combinaison choisie ou la combinaison critique contient un cas de charge d'incendie et que l'étude de l'incendie a été effectuée pour l'assemblage d'éléments choisi, les coefficients de flambement dans l'incendie et la profondeur de carbonisation sont également indiqués.



Calculs d'étude

Cliquez sur le bouton *Calculs d'étude* pour voir les détails d'étude. Le calcul peut être enregistré dans la documentation. En cas d'étude d'un incendie, le type de courbe d'incendie et la profondeur de carbonisation efficace calculée sont également indiqués.

2. Flexion (y)

EN 1995-1-1: 6.1.6

EN 1995-1-2: 2-4.

Courbe d'incendie: **Courbe d'incendie ISO**

Temps de résistance contre incendie requis: **R30**

Profondeur de carbonisation effective: $d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0 = 1{,}73 + 1 \cdot 0{,}70 = 2{,}43$ cm

Section critique: $x = 0{,}00 \cdot L = 0{,}00 \cdot 250{,}00 = 0$ cm

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{|M_y|}{W_{y,fi}} = \frac{|(-67{,}80)|}{173{,}32} = 0{,}39 \text{ kN/cm}^2$$

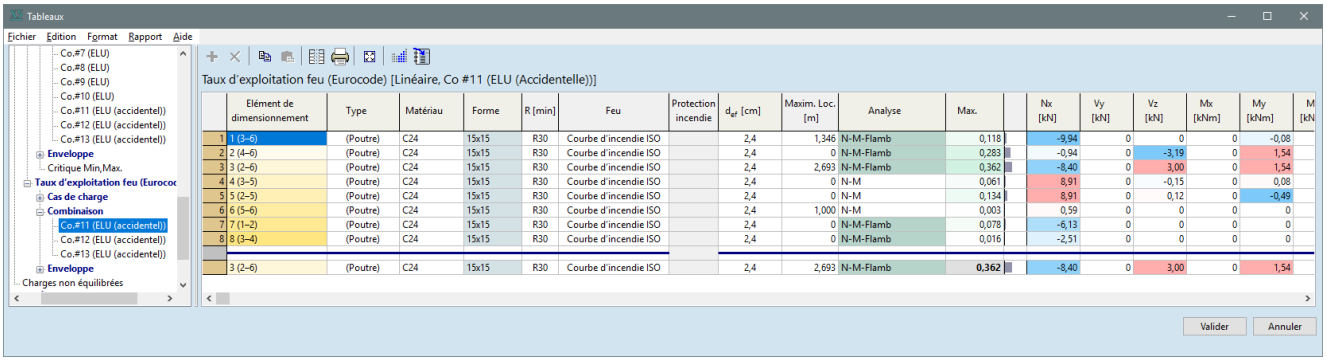
$$k_{h,y} = \min\left(\left(\frac{150}{h_{fi}}\right)^{0.2}; 1.3\right) = \min\left(\left(\frac{150}{10{,}13}\right)^{0.2}; 1.3\right) = 1{,}082 \quad (3.1)$$

$$f_{m,y,d,fi} = \frac{k_{mod,fi} \cdot k_{h,y} \cdot f_{m,20}}{\gamma_{M,fi}} = \frac{1 \cdot 1{,}082 \cdot 3{,}00}{1} = 3{,}24 \text{ kN/cm}^2$$

$$\eta_{M_y,fi} = \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{f_{m,y,d,fi}} = \frac{0{,}39}{3{,}24} = 12{,}1\ \% \qquad \textbf{vérifié}$$

Tableau des résultats

Parmi les tableaux de résultats d'étude du bois, l'*exploitation dans le feu* résume les résultats d'étude du feu afin de faciliter la communication avec les ingénieurs de la sécurité incendie..



Optimisation de la section transversale

Si le module TD9 est présent, l'optimisation de la section transversale du bois peut être effectuée pour les combinaisons de charges qui contiennent un cas de charge d'incendie par rapport aux règles d'étude du feu.

6.7.3. Optimisation de la section transversale en bois - module TD9

Le module TD9 nécessite le module TD1.

L'optimisation de la section transversale des structures en bois rend les assemblages d'éléments en bois précédemment définis et conçus plus efficaces en ajustant les dimensions de la section transversale et en réduisant le poids propre.

L'optimisation vérifie les mêmes forces internes dans les assemblages d'éléments en ignorant les changements de rigidité dus aux changements de dimensions. Dans certaines structures, le recalcul du projet peut montrer des changements considérables dans les projets de force interne. Dans ces cas, plusieurs optimisations consécutives peuvent trouver la structure la plus efficace.

L'optimisation utilise les paramètres d'étude du bois préalablement attribués aux assemblages d'éléments.

Les types de sections transversales qui se prêtent à l'optimisation sont les suivants: rectangle, rectangle arrondi et formes circulaires. Les sections transversales variables ne peuvent pas être optimisées.

Pour les détails de l'optimisation, voir... *6.6.1.4 Optimisation de la section transversale en acier – module SD9*

6.8. Étude des domaines XLAM - module XLM

Norme

Il n'existe actuellement aucune réglementation valable en matière d'étude globale des panneaux XLAM (CLT). Pour plus de détails sur la procédure de calcul détaillée et les références, voir le "*Guide de théorie et d'étude XLAM*".

Propriétés des matériaux

La bibliothèque de matériaux contient un matériau XLAM dédié qui possède des propriétés prédéfinies de rigidité et de résistance. Si l'utilisateur le souhaite, les propriétés du matériau peuvent être modifiées arbitrairement dans la bibliothèque de matériaux associée au projet.

Valeurs caractéristiques des paramètres matériaux	*Dénotation*
Résistance à la flexion	$f_{m,k}$
Résistance à la traction parallèle aux fibres	$f_{t,0,k}$
Résistance à la traction perpendiculaire aux fibres	$f_{t,90,k}$
Résistance à la compression parallèle aux fibres	$f_{c,0,k}$
Résistance à la compression perpendiculaire aux fibres, direction (*y*)	$f_{c,90,k}$
Résistance à la compression perpendiculaire aux fibres, direction (*z*)	$f_{c,90,k}$
La force de torsion	$f_{T,k}$
Force de cisaillement dans la direction y	$f_{v,k}$
Force de cisaillement dans la direction z	$f_{v,k}$
Résistance au cisaillement du laminage	$f_{r,k}$*

**supposé comme 1,0 N/mm2, indépendamment de la classe de résistance*

Valeurs de rigidité	*Dénotation*
Valeur moyenne du module de Young parallèle aux fibres	$E_{0,moyen}$
Valeur moyenne du module de Young perpendiculaire aux fibres	$E_{90,\ moyen}$
Module de Young parallèle aux fibres pour le niveau de signification de 0,05	$E_{0,05}$
Valeur moyenne du module de cisaillement	G_{moyen}
Valeur moyenne du module de cisaillement roulant	$G_{R,moyen}$*

**on suppose que $_{GR,mean}$ / Gmean = 0,1 se maintient, indépendamment de la classe de force*

Densité	*Dénotation*
Densité apparente	ρ_k
Valeur moyenne de la densité	ρ_{moyen}

Coefficient de sécurité	*Signe*
Coefficient de sécurité du matériau	γ_M

Classes de service

See chapitre *6.7.1 Étude de poutres en bois - module TD1*

Classes de durée de charge

See chapitre *6.7.1 Étude de poutres en bois - module TD1*

Valeur caractéristique de la force

Les valeurs de contrainte doivent être déterminées indépendamment en raison des actions de flexion, normales et de cisaillement.

$\sigma_{mx,t}$ - valeur pertinente de la contrainte normale dans la direction x due à la flexion, sur la moitié supérieure de la région (le côté de la région associé à la direction positive de l'axe z local).

$\sigma_{mx,b}$ - valeur pertinente de la contrainte normale dans la direction x due à la flexion, sur la moitié inférieure de la région (le côté de la région associé à la direction négative de l'axe z local).

$\sigma_{my,t}$ - valeur pertinente de la contrainte normale dans la direction y due à la flexion, sur la moitié supérieure de la région (le côté de la région associé à la direction positive de l'axe z local).

$\sigma_{my,b}$ - valeur pertinente de la contrainte normale dans la direction y due à la flexion, sur la moitié inférieure de la région (le côté de la région associé à la direction négative de l'axe z local).

σ_{nx} - valeur pertinente de la contrainte normale dans la direction x due aux forces normales.

σ_{ny} - valeur pertinente de la contrainte normale dans la direction y due aux forces normales.

$\tau_{n,xy}$ - valeur pertinente de la contrainte de cisaillement dans le plan par rapport à la force normale.

$\tau_{m,xy}$ - valeur pertinente de la contrainte de cisaillement dans le plan à partir du moment de torsion.

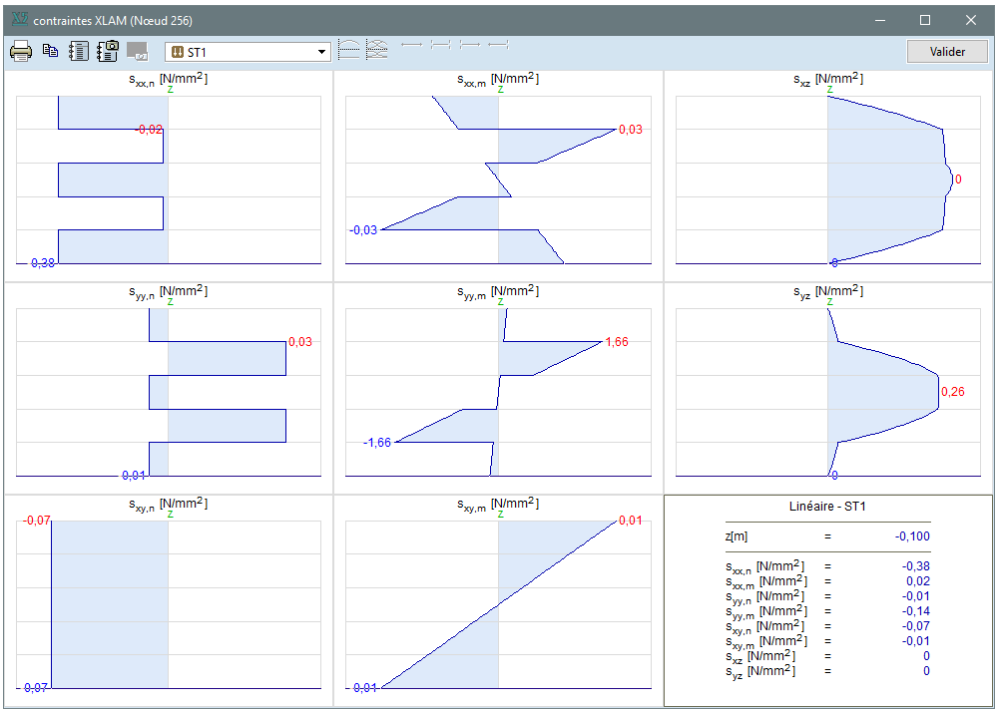
$\tau_{xz,max}$ - contrainte de cisaillement pertinente agissant dans la direction z sur le plan dont la normale est dans la direction x.

$\tau_{yz,max}$ - contrainte de cisaillement pertinente agissant dans la direction z sur le plan dont la normale est dans la direction y.

$\tau_{rx,max}$ - la contrainte de cisaillement roulant pertinente agissant dans la direction z sur le plan dont la normale est dans la direction x.

$\tau_{ry,max}$ - contrainte de cisaillement roulant pertinente agissant dans la direction z sur le plan dont la normale est dans la direction y.

En cliquant sur un nœud, on peut voir la répartition de chaque composante de contrainte calculée dans l'épaisseur:



Valeur calculée de la force

Les valeurs étudiées de la résistance peuvent être calculées selon la formule :

$f_{c0d}, f_{c90d}, f_{vd}, f_{rd}$: $f_d = k_{mod} f_k / \gamma_M$

$f_{m90d}, f_{t0d}, f_{t90d}$: $f_d = k_{sys} k_{mod} f_k / \gamma_M$

f_{m0d}: $f_d = k_{sys} k_{mod} k_{fin} f_k / \gamma_M$

Où,

k_{mod} Facteur de modification pour la durée de la charge et la teneur en humidité (EN 1995-1-1, 3.1.3)

k_{sys} Facteur de solidité du système

k_{fin} Facteur de réduction de la résistance à la flexion

f_k Valeur caractéristique de la force

γ_M Facteur de sécurité du matériau (EN 1995-1-1, tableau 2.3)

Facteur k_{sys}

$k_{sys} = \min \min \{1 + 0.025 \cdot n; 1.2\}$ (n indique le nombre de couches, mais $n > 1$)

Interactions

Force normale - Moment de flexion dans le sens des fibres [M-N-0].
Force normale - Moment de flexion perpendiculaire à la direction des fibresM [M-N-90].
Torsion de cisaillement [V-T]
Force normale - Cisaillement roulant [Vr-N]

Force normale - Moment de flexion dans le sens des fibres (M-N-0)

En cas de traction

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{|\sigma_{m,0,d}|}{f_{m,0,d}} \leq 1$$

En cas de compression

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{|\sigma_{m,0,d}|}{f_{m,0,d}} \leq 1$$

Force normale - Moment de flexion perpendiculaire aux fibres (M-N-90)

En cas de traction

$$\frac{\sigma_{t,90,d}}{f_{t,90,d}} + \frac{|\sigma_{m,90,d}|}{f_{m,90,d}} \leq 1$$

En cas de compression

$$\left(\frac{\sigma_{c,90,d}}{f_{c,90,d}}\right)^2 + \frac{|\sigma_{m,90,d}|}{f_{m,90,d}} \leq 1$$

Cisaillement - Torsion (V-T))

$$\frac{|\tau_{T,d}|}{f_{T,d}} + \left(\frac{\tau_d}{f_{v,d}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{r,d}}{f_{r,d}}\right)^2 \leq 1$$

Cisaillement roulant- Force normale (Vr-N)

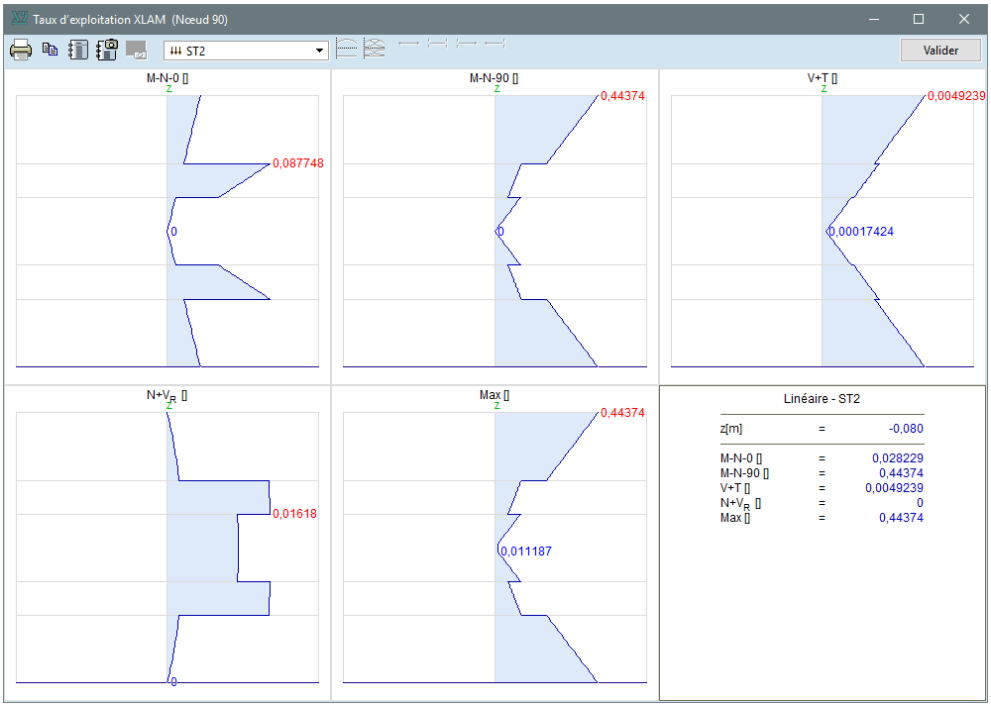
Dans le sens des fibres

$$\frac{\sigma_{t,90,d}}{f_{t,90,d}} + \frac{|\tau_{r,d}|}{f_{r,d}} \leq 1\,; \quad \frac{|\sigma_{c,90,d}|}{f_{c,90,d}} + \frac{|\tau_{r,d}|}{f_{r,d}} \leq 1$$

Parallèle à la direction des fibres

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{|\tau_{r,d}|}{f_{r,d}} \leq 1\,; \quad \frac{|\sigma_{c,0,d}|}{f_{c,0,d}} + \frac{|\tau_{r,d}|}{f_{r,d}} \leq 1$$

En cliquant sur un nœud, on peut voir la répartition de la composante d'exploitation calculée à travers l'épaisseur:



6.9. Étude de murs en maçonnerie - module MD1

Le module MD1 permet d'effectuer l'analyse typique des murs en maçonnerie non renforcée et de spécifier leurs paramètres d'étude requis pour le contrôle d'étude. Un processus de vérification global et complexe est mis en œuvre pour les murs en maçonnerie soumis à des charges de cisaillement principalement verticales et dans le plan.

Il offre une solution pour l'analyse globale des murs en maçonnerie à un ou plusieurs étages avec des jonctions de raccordement. Les jonctions ont généralement une influence considérable sur la capacité portante des murs.

La vérification est disponible pour les normes *Eurocode*, *NTC* et *SIA*.

6.9.1. Analyse complexe des murs de maçonnerie non renforcés

Principes généraux

Les types d'analyse suivants sont disponibles dans le module :

A) *Analyse de la stabilité des murs soumis à des charges principalement verticales.* Ce contrôle ne prend en compte que les excentricités perpendiculaires au plan du mur, quelle que soit la largeur de la bande de mur. L'excentricité bidirectionnelle ne peut pas être analysée.

B) *Contrôle complexe de la stabilité en cas d*'excentricité bidirectionnelle en force normale, couplé à un contrôle du cisaillement dans le plan.

Les contrôles A) et B) utilisent différentes sections transversales d'étude définies par l'utilisateur (voir... *6.9.1.3. Vérifier le domaine comme un mur de maçonnerie*) Le contrôle de type *B n*'est effectué que si un contrôle de cisaillement est demandé dans la boîte de dialogue Paramètres de la bande de mur en maçonnerie**...** *6.9.1.2 Paramètres d'une bande de mur en maçonnerie*

Seuls les murs de maçonnerie non renforcés peuvent être contrôlés en supposant que le mur a une épaisseur constante le long d'un étage, seul le mur à une seule épaisseur peut être spécifié.

Les murs en maçonnerie peuvent être contrôlés selon les normes *EN 1996-1-1 (chapitre 6.1)*, *NTC (chapitre 4.5.6.2)* et *SIA 266 (chapitre 4.3.1 et 4.4.*) en tenant compte des hypothèses et des limites d'application suivantes.

Les norme ci-dessus supposent que les murs sont soutenus horizontalement par les dalles, de sorte que les murs autonomes ou en porte-à-faux ne peuvent pas être analysés.

Différents paramètres peuvent être ajoutés au projet (voir Paramètres des *jonctions*), ce qui peut entraîner des moments de flexion supplémentaires sur le projet structurel (murs à plusieurs étages avec différentes épaisseurs de paroi, paramètres des jonctions, effet de la force de réaction excentrique des dalles).

Ces effets ne sont pas négligeables dans le calcul de la capacité de charge des éléments, mais une modélisation précise peut, dans certains cas, nécessiter des projets très compliqués. Pour faciliter le contrôle d'étude, deux projets approximatifs sont fournis (voir... *Calcul des moments de flexion supplémentaires*). Dans tous les cas, l'utilisateur doit décider si ces solutions sont applicables.

Le module MD1 fonctionne avec des bandes virtuelles (voir... *2.16.16. Poutres virtuelles*). Des paramètres d'étude sont attribués aux bandes virtuelles et le contrôle ne peut être effectué que sur les résultats intégrés des bandes.

Les bandes virtuelles peuvent comprendre plusieurs étages, de sorte que l'ensemble du segment de mur peut être analysé comme un système structurel complet, mais les étages peuvent avoir des paramètres d'étude différents.

Les chapitres *6.9.1.7 - 6.9.1.10* servent d'informations sur les limitations spécifiques aux normes.

6.9.1.1. Définition des murs en maçonnerie et de leurs paramètres

Paramètres d'étude



Cliquez sur l'icône *Paramètres d'étude*, pour spécifier les étages de la bande de mur en maçonnerie et vérifier le mur dans la boîte de dialogue *Murs en maçonnerie*.

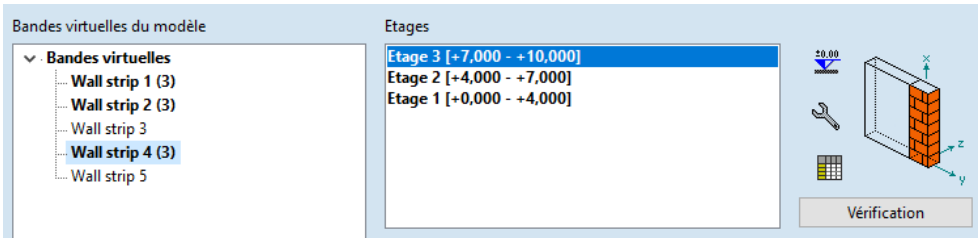
Cliquez sur l'icône ou sur l'axe d'une bande virtuelle pour attribuer des paramètres d'étude (voir... *2.16.16. Poutres virtuelles*). L'icône n'est activée que s'il existe au moins une bande virtuelle dans le projet avec des résultats statiques ou dynamiques.

Il faut d'abord sélectionner la bande virtuelle (voir... *2.16.1. Sélection*). Une seule bande virtuelle peut être sélectionnée. Ses domaines ne peuvent pas comporter d'autres matériaux que la maçonnerie, la bande doit être continue, les domaines ne peuvent pas être biseautés et doivent être verticaux avec un écart maximal de 15°. Si l'un de ces critères n'est pas rempli, un message d'avertissement apparaît, sinon la boîte de dialogue *Murs en maçonnerie s*'affiche et la bande virtuelle sélectionnée sera choisie dans la liste des bandes virtuelles de maçonnerie.

☞ **Le dialogue des *murs en maçonnerie* s'ouvre automatiquement en cliquant sur une bande virtuelle (valide) dans le projet.**

Bandes virtuelles

La boite de dialogue *Murs de maçonnerie* affiche une liste de *bandes virtuelles du projet*. Il s'agit des bandes virtuelles de maçonnerie existantes. La sélection d'une bande virtuelle affiche la liste des étages affectés à la bande sélectionnée *(étages)*. La sélection d'un étage affiche les paramètres d'étude attribués à l'étage sélectionné.
Comme les paramètres d'étude sont attribués aux étages, la première étape consiste à définir les étages de la bande sélectionnée.
Si une bande virtuelle contient déjà un ou plusieurs étages, son titre est indiqué en gras. Le chiffre entre parenthèses indique le nombre d'étages attribués à la bande virtuelle.

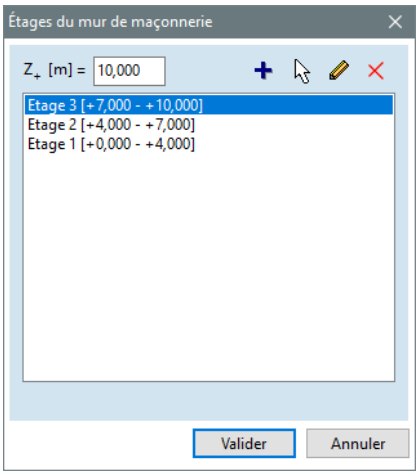


Etages

La première étape consiste à attribuer des étages aux bandes. Les contrôles d'étude sont effectués sur les étages. Les niveaux définis sont identifiés comme étant les niveaux des dalles qui soutiennent le mur latéralement.



Cliquez sur l'icône *Modifier les étages* pour définir les étages de la bande virtuelle.



Chaque étage doit couper l'axe de la poutre ou de la bande virtuelle sélectionnée. Si le projet comporte des étages (voir... *3.3.4 Etages*), ceux-ci sont importés par défaut, mais les étages affectés aux bandes virtuelles de maçonnerie ne doivent pas nécessairement être identiques aux étages du projet.

Les étages peuvent être supprimés (icône de suppression), modifiés (crayon) et de nouveaux étages peuvent être ajoutés (+ et flèche). Les étages sont sauvegardés dans la bande virtuelle. Si des étages sont attribués à la bande virtuelle, la section transversale et la section transversale verticale (voir... *6.9.1.5 Affichage de murs en maçonnerie dans le projet*) du mur seront également affichées dans la fenêtre principale. Les limites des étages seront affichées sous forme de cercles sur l'axe de la bande virtuelle.

Paramètres d'étude automatique

Après avoir défini les étages, les paramètres suivants sont tirés du projet basé vers les propriétés des domaines associés à la bande virtuelle.

- *Le matériau de maçonnerie de chaque étage.*
  Si la bande virtuelle passe par différents domaines de maçonnerie (mur), un seul des matériaux est attribué à la bande (un seul type de matériau peut être considéré à chaque étage). Le matériau assigné peut être remplacé par un autre parmi les *paramètres d'étude*.

  Les modules d'élasticité (appliqués pour le contrôle d'étude) sont identifiés en examinant le système de coordonnées local du domaine. Si aucun des axes du système de coordonnés local ne coïncide avec la direction verticale, alors l'axe le plus proche de la direction verticale est utilisé pour déterminer le paramètre. Les modules d'élasticité attribués peuvent être remplacés dans la fenêtre Paramètres d'étude (Voir... *6.9.1.3. Vérifier le domaine comme un mur de maçonnerie*).

- *L'épaisseur des murs de chaque étage.*

  Si la bande virtuelle passe par différents domaines de maçonnerie (mur), un seul des paramètres d'épaisseur est attribué à la bande (seule une épaisseur de paroi constante peut être prise en compte dans la vérification). L'épaisseur du mut ne peut pas être modifiée ultérieurement, la propriété du domaine concerné doit être modifiée si nécessaire.

- *La largeur du mur,* qui est la même que la largeur de la bande virtuelle.

  La capacité de charge est calculée en tenant compte de la largeur totale.

- *Le type de la dalle (en béton) reliée aux bandes du mur et son épaisseur.*
  Le type de dalle peut être *continu* et à *une face*. Si aucune dalle de béton de raccordement n'a été trouvée, la valeur "*Dalle non définie*" apparaît (voir... *6.9.1.3. Vérifier le domaine comme un mur de maçonnerie*).

  Remarque: les normes disponibles supposent que les murs sont soutenus latéralement par les dalles. Ainsi, la valeur "*Dalle non définie*" indique seulement qu'aucune dalle soutenue n'a été trouvée dans le projet.

  Si plus d'un domaine est connecté à la bande virtuelle, l'épaisseur de la dalle la plus fine est appliquée.

  Le type de la dalle et son épaisseur peuvent être modifiés ultérieurement, indépendamment du projet, dans la fenêtre "*Jonction de maçonnerie*".

- *Concevoir des sections transversales* (4 ou 6 positions différentes, voir plus loin) en fonction des structures de connexion.

Si les propriétés des dalles reliant les étages sont annulées, les modifications des paramètres du domaine ne mettent plus à jour les paramètres de la maçonnerie. Ceux-ci sont mis à jour par l'utilisateur en supprimant les paramètres de maçonnerie et en les redéfinissant à nouveau, ou bien les paramètres doivent être modifiés manuellement.

Restaurer les paramètres d'étude automatique



Ce bouton permet de restaurer tout ou partie des paramètres d'étude automatique de l'étage sélectionné de la bande virtuelle réelle. Ces paramètres sont les suivants

- Matériau de maçonnerie (et ses paramètres),
- Épaisseur du mur,
- Jonction de maçonnerie (jonction supérieur et inférieur, avec toutes les sections transversales de référence),
- Paramètres d'étude (toutes les données affichées dans la boîte de dialogue *Paramètres d'étude, à l*'exception du matériau).

Pour plus de détails, voir... *6.9.1.3. Vérifier le domaine comme un mur de maçonnerie*

Tableau des paramètres d'étude globale



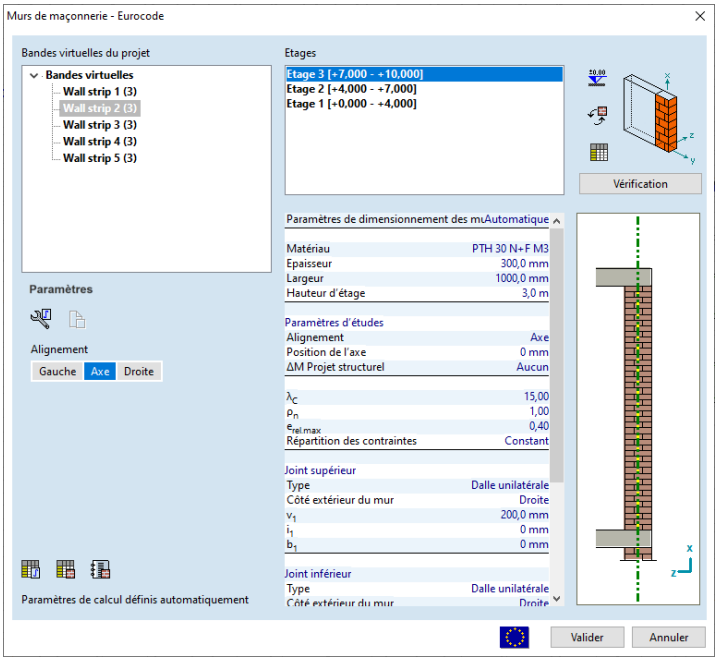
En cliquant sur l'icône "*Tableau des paramètres d'étude globale*", les *paramètres d'étude* des *bandes virtuelles sont* résumés dans un tableau.

Pour plus de détails, voir... *6.9.1.6. Résultats*

Vérification

Cliquez sur le bouton "*Vérifier*" pour effectuer le contrôle d'étude des étages.

Pour plus de détails, voir... *6.9.1.4. Contrôle de l'étude des murs en maçonnerie - définition des paramètres d'étude et de jonction*



☞ **Le nom d'un étage peut être modifié en cliquant avec le bouton droit de la souris sur le nom et en choisissant "Renommer".**

Autres paramètres De étude

Les autres paramètres d'étude sont définis en fonction des recommandations du code d'étude ou du paramètre par défaut prédéfini dans AxisVM.

Paramètres d'étude d'un mur en maçonnerie

Si les paramètres d'étude n'ont pas été modifiés, *Auto* est affiché sur la première ligne de la liste, sinon *Custom* est affiché.

Vue latérale d'un étage

La boîte de dialogue *Murs en maçonnerie* montre le côté de la bande de mur en maçonnerie sélectionnée avec les dalles de raccordement.

Système de coordonnées

La vue latérale du mur et les forces internes de la bande sont affichées dans le système de coordonnées local de la bande virtuelle. Le même système est utilisé dans les dialogues *Murs en maçonnerie* et *Contrôle d'étude des murs en maçonnerie*.



En fermant la boîte de dialogue *Murs en maçonnerie*, la fenêtre principale affiche la section transversale verticale du mur avec ses jonctions (voir... *6.9.1.5 Affichage de murs en maçonnerie dans le projet*)

Paramètres

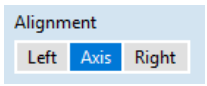
Les paramètres suivants sont attribués à l'ensemble de la bande virtuelle:

Paramètres d'étude globale

Les paramètres globaux des bandes de mur en maçonnerie sont disponibles en cliquant sur l'icône *Paramètres des paramètres globaux d'étude*.



Alignement



Si la bande virtuelle sélectionnée contient des étages avec des valeurs d'épaisseur de mur différentes, l'utilisateur peut ajuster le plan de référence des murs. Par défaut, le programme fait correspondre les plans médians (*Axe*) des murs (comme dans le cas des murs intérieurs).
Dans le cas de murs de façade ou dans d'autres situations, les murs peuvent être disposés à *gauche* ou à *droite* (sur la base du système de coordonnées locales de la bande virtuelle), en fonction des côtés gauche ou droit du mur. Dans ces cas, l'effet d'un moment de flexion supplémentaire doit être pris en compte (voir la section transversale suivante).
La vue de côté montre l'axe de la bande virtuelle et l'axe du mur ayant la plus grande épaisseur de mur sous forme linéaire verte pointillée. La ligne jaune en pointillé montre l'axe du mur à l'étage sélectionné.
Si tous les murs de la bande ont la même épaisseur, l'option *Alignement* est désactivée.

Paramètres d'étude d'un mur en maçonnerie

En cliquant sur l'icône *Paramètres d'étude des murs en maçonnerie*, les *paramètres d'étude* des *étages sont* résumés dans un tableau. L'icône n'est active que si le projet contient déjà au moins une bande virtuelle (de maçonnerie) qui comporte un ou plusieurs étages.



Pour plus de détails, voir... *6.9.1.6. Résultats*.

Calculs d'étude



En cliquant sur l'icône *Calculs d'étude*, le logiciel génère un *rapport* détaillé des résultats en fonction de la bande virtuelle active et de la combinaison de charge/du cas de charge sélectionné dans le projet. L'icône n'est active que si le projet contient déjà au moins une bande virtuelle (de maçonnerie) qui comporte un ou plusieurs étages.

Pour plus de détails, voir... *6.9.1.6. Résultats*

Résultats d'étude



En cliquant sur l'icône *Résultats d'étude*, les *résultats d'étude* des *bandes virtuelles sont* résumés dans un tableau. L'icône n'est active que si le projet contient déjà au moins une bande virtuelle (de maçonnerie) qui a un ou plusieurs étages.

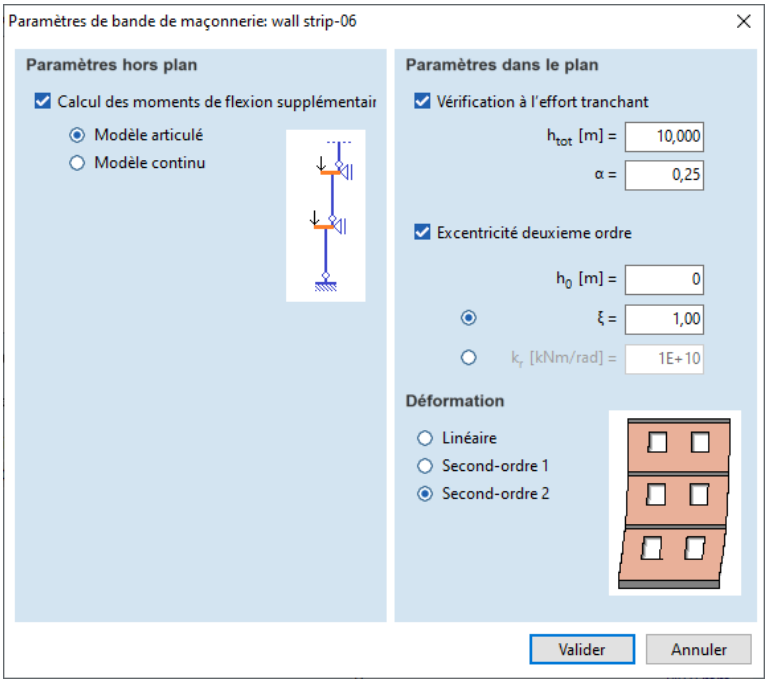
Pour plus de détails, voir... *6.9.1.6. Résultats*.

6.9.1.2. Paramètres d'une bande de mur en maçonnerie

Paramètres globaux d'une bande de mur en maçonnerie



Cliquez sur l'icône Paramètres d'étude *globale* pour modifier les paramètres attribués à l'ensemble de la bande de maçonnerie.

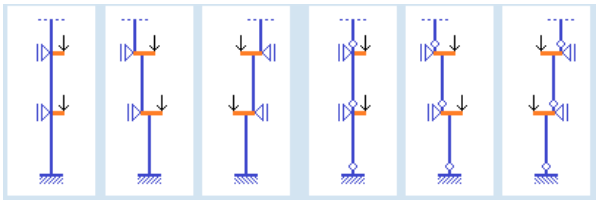


Réglages hors du plan

Calcul de des moments de flexion supplémentaires

Les réglages de la bande de maçonnerie (alignement des murs, réglages des jonctions de maçonnerie, répartition des contraintes et force de réaction de la dalle) peuvent introduire des excentricités supplémentaires, de sorte que les moments de flexion doivent être pris en compte. Si le projet n'inclut pas ces effets, le module de maçonnerie propose deux projets différents pour les approximer et les calculer: Projet à *rotule* ou *projet continu*. Pour plus de détails, voir... *6.9.1.7 Principes de contrôle*. Le moment de flexion d'étude est la somme du moment de la bande virtuelle et des résultats des projets ci-dessus.

Le diagramme à côté du projet choisi symbolise les forces excentriques des joints et les différentes épaisseurs de paroi. La figure dépend également du plan de référence des parois (*Gauche/Axe/Droite*) dans le cas de différentes épaisseurs de mur.



Si le *calcul des moments de flexion supplémentaires* n'est pas coché, aucun moment de flexion *supplémentaire* n'est calculé.

Réglages dans le plan

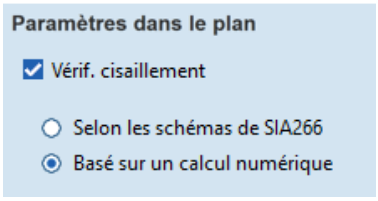
Ces paramètres sont liés aux contrôles dans le plan:

Contrôle de cisaillement

En sélectionnant "*Contrôle de cisaillement*", le module effectue des contrôles de type *A* et *B*, comme indiqué au chapitre *6.9.1 Analyse complexe des murs de maçonnerie non renforcés6.9.1.* Si cette fonction n'est pas activée, seule la vérification de type *A* sera effectuée.

Code de conception SIA

Dans le cas de la norme SIA, les options suivantes sont disponibles pour déterminer la capacité de cisaillement :



Les méthodes ci-dessus sont détaillées dans le chapitre *6.9.1.10 Contrôle de conception selon la norme SIA.*

Excentricité initiale

Le programme ne calcule l'excentricité initiale que si cette option est sélectionnée. L'excentricité initiale est calculée par la réglementation générale de la norme *EN 1996-1-1 section 5.3.* en supposant que la structure est inclinée d'un certain angle par rapport à la verticale et en considérant les paramètres ci-dessus.

Excentricité de Second ordre

Validez *excentricité de second ordre* pour prendre en compte cet effet. La condition de nécessité est détaillée dans la *section 5.4 de la norme EN 1996-1-1.* Le programme ne calcule l'excentricité du second ordre que si cette option est sélectionnée.

Calcul des excentricités d'étude

Les excentricités de premier et de second ordre dans le plan de la paroi sont calculées à l'aide des paramètres suivants

htot Hauteur totale du mur mesurée à partir du haut de la fondation
α Rapport des charges verticales stabilisées par la bande de mur ($0 < \alpha \leq 1$).

Paramètres supplémentaires pour l'excentricité de second ordre :

h0 *Point de base*
ξ Facteur d'amplification pour la rigidité en rotation du dispositif de retenue de l'élément structurel considéré
kr *Rigidité en rotation du dispositif de retenue*

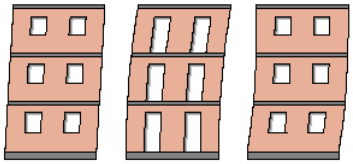
Un seul des deux paramètres précédents peut être donné.

☞ **En cas de combinaison de type sismique, le programme ne calcule pas automatiquement l'excentricité de second ordre. Ceci peut être pris en compte en utilisant l'indice de stabilité plastique disponible dans le tableau de la sensibilité sismique des étages et en suivant les réglementations connexes de la norme EN *1998-1-1*.**

Déformation

Dans les sections transversales d'étude, l'excentricité du second ordre est approximé en supposant l'une des formes de déformation (typique) suivantes.

- Linéaire
- 2ème ordre 1
- 2ème ordre 2



6.9.1.3. Vérifier le domaine comme un mur de maçonnerie

Vérifier le domaine comme un mur de maçonnerie

Le contrôle de domaine comme un mur en maçonnerie est un contrôle simplifié d'un mur d'un étage sans bandes virtuelles existantes. La bande virtuelle est automatiquement créée au cours du processus. Une simple région de maçonnerie doit être sélectionnée et un point de référence pour la bande virtuelle.



La bande virtuelle créée a toujours une largeur de 1 m, mais cette valeur peut être modifiée à tout moment en modifiant les paramètres des *bandes virtuelles (*voir... *2.16.16. Poutres virtuelles)*. Si le point de

départ saisi est proche du bord du domaine, l'axe de la bande virtuelle est automatiquement décalé pour garantir que la bande entière se trouve dans le domaine.

Une fois la sélection terminée, la fenêtre *Vérification d'étude des murs en maçonnerie* s'ouvre, dans laquelle les paramètres d'étude et les jonctions peuvent être réglés et les résultats vérifiés.

La bande de mur en maçonnerie définie par la fonction de *contrôle du domaine comme mur en maçonnerie* peut également être gérée par la fonction de *paramètres d'étude* comme les autres bandes virtuelles.

Remarque: en utilisant cette fonction, le logiciel suppose que le calcul du moment de flexion supplémentaire (voir plus loin) n'est pas nécessaire et que le contrôle du cisaillement n'est pas marqué. Pour modifier ces paramètres, cliquez sur la bande virtuelle créée automatiquement et effectuez les modifications dans la boîte de dialogue *Murs en maçonnerie*.

6.9.1.4. Contrôle de l'étude des murs en maçonnerie - définition des paramètres d'étude et de jonction

Contrôle d'étude de mur en maçonnerie

Cliquez sur le bouton *Vérifier de la boîte de* dialogue *Murs en maçonnerie* pour afficher la boîte de dialogue Vérification d'étude *des murs en maçonnerie* où les paramètres d'étude des étages de murs peuvent être spécifiés et où la vérification d'étude est effectuée.

Réglez la première liste déroulante de la barre d'outils supérieure sur l'étage souhaité du mur et définissez le cas de charge ou la combinaison.

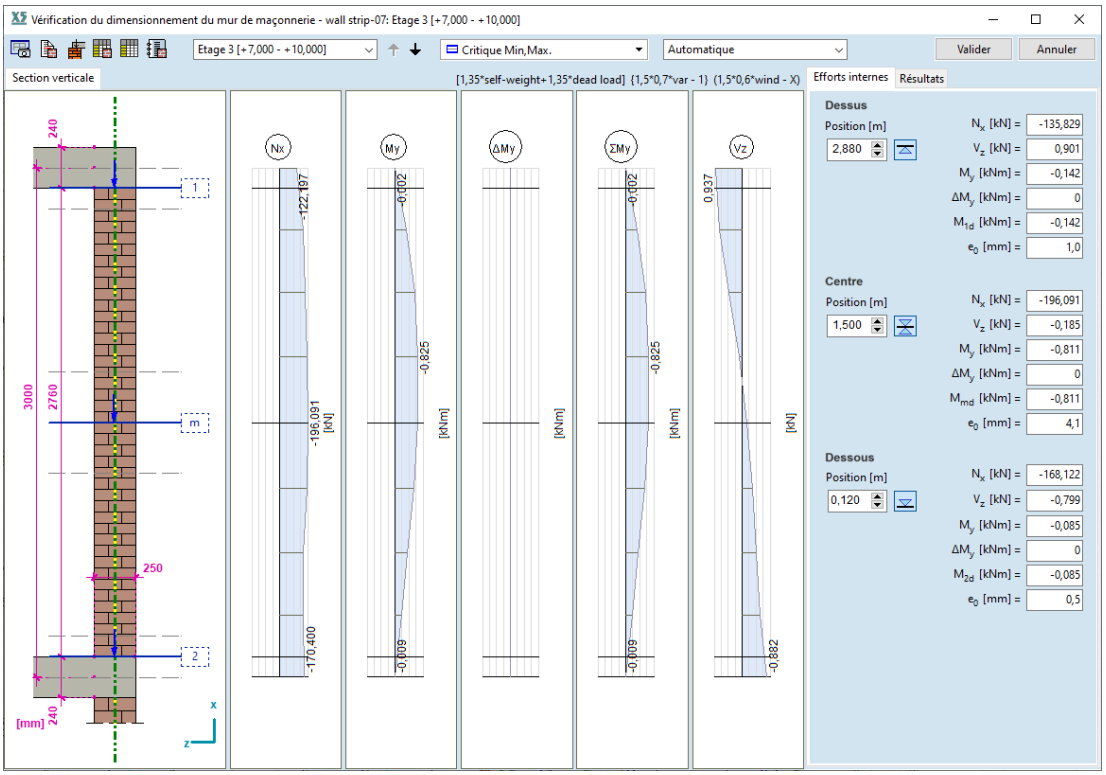
Le côté gauche de la fenêtre affiche la *section transversale verticale* ou la *vue latérale de l'*étage de maçonnerie sélectionné. (Si le contrôle du cisaillement n'est pas actif, seule la section transversale du mur peut être vue.) Les dimensions et les jonctions sont indiqués en détail, y compris la dalle de raccordement, l'isolation thermique, etc. Dans la *vue latérale* du mur, les domaines du mur de raccordement sont également visibles dans une couleur pâle, ce qui aide à spécifier les sections transversales d'étude (ouvertures) pour l'étude du cisaillement.

Le système de coordonnées dans le coin droit/gauche (selon la vue sélectionnée) montre le système de coordonnées de la bande virtuelle.

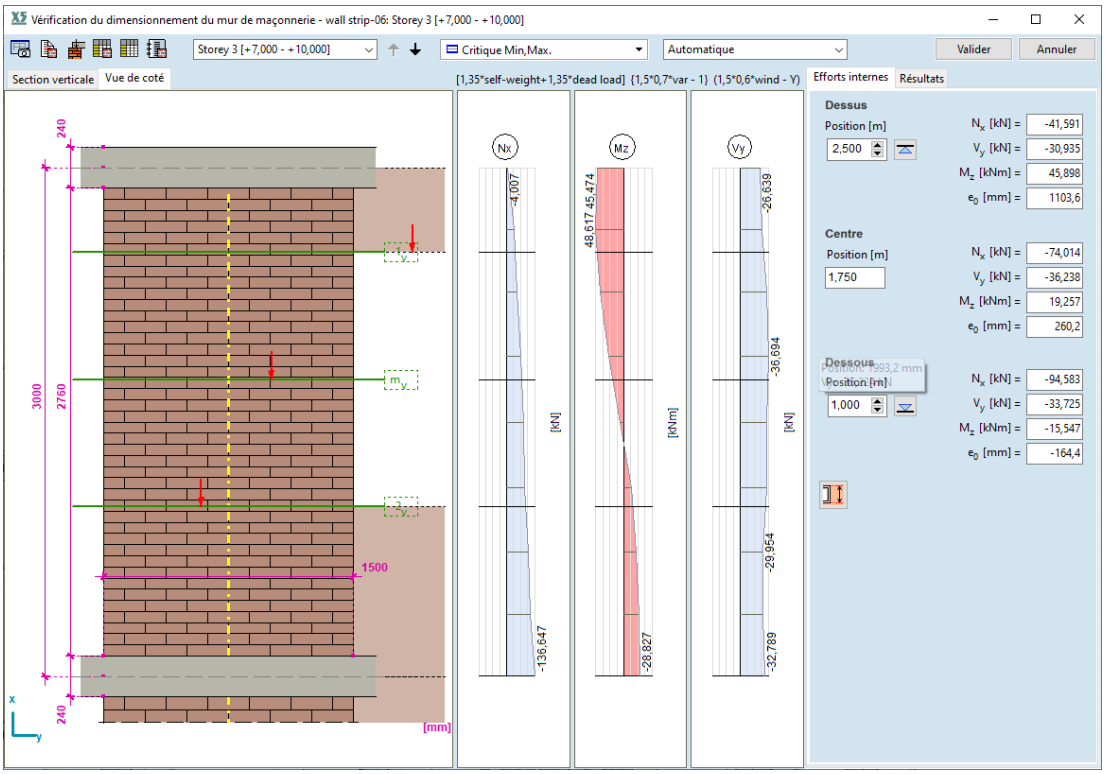
L'axe vert indique l'axe de la bande virtuelle. Si l'épaisseur du mur n'est pas la même à tous les étages, cet axe est identique à l'axe du mur le plus épais. L'axe jaune est l'axe de l'étage. Si l'épaisseur du mur n'est pas la même à tous les étages, l'axe jaune ne coïncide pas nécessairement avec l'axe vert.

La couleur du matériau utilisé est la même que celle des éléments de maçonnerie. Le motif de remplissage ne peut pas être modifié et ne suit pas le type d'éléments de maçonnerie.

Section transversale verticale



Vue de côté



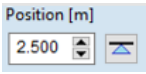
Étage actif

☞ **Si la souris est déplacée sur le mur de maçonnerie, le curseur se transforme en symbole de main. Double-cliquez sur le mur pour accéder à la boîte de dialogue *Paramètres d'étude des murs en maçonnerie*.**

☞ **Si la souris est déplacée sur la jonction supérieure ou inférieure du mur de maçonnerie, le curseur se transforme en symbole de main. Double-cliquez pour ouvrir la boîte de dialogue *Joints de maçonnerie*.**

Section transversale de référence

La position des sections transversales de référence peut être saisie en *haut / au centre / en bas*. Les forces internes de la bande virtuelle sont lues dans ces positions pour le contrôle d'étude.



Sections transversales de référence 1, m, 2

Si le contrôle du cisaillement n'est pas sélectionné, seules 3 sections transversales de référence peuvent être définies (avec les annotations ***1, m, 2***). Elles peuvent être spécifiées lorsque la *section transversale verticale du* mur est active. Ces sections transversales appartiennent au contrôle de type *A* (voir ci-dessus).

Des lignes bleues épaisses indiquent les positions des sections transversales de référence. Ces lignes peuvent être glissées avec la souris entre les limites (lignes noires pointillées).

La position des sections transversales de référence est automatiquement ajustée au bord des dalles de béton en haut et en bas si des dalles de béton sont présentes en fonction des réglages des jonctions. Cliquez sur le petit bouton à droite du champ d'édition pour rétablir la position automatique.

☞ **Dans le cas de la norme SIA 266, la position de la section transversale centrale ne peut pas être fixée.**

Sections transversales de référence 1_v, m_v, 2_v (position des ouvertures)

Si le contrôle du cisaillement est activé, trois autres sections transversales de référence peuvent être définies dans la *vue latérale du* mur. Ce sont les positions où le contrôle d'étude B) est effectué (stabilité complexe et contrôle de cisaillement). Les effets des ouvertures et des domaines de connexion peuvent être pris en compte avec ces positions (le contrôle du cisaillement est effectué sur la section transversale du mur entre les sections transversales inférieure et supérieure). Ces positions sont indépendantes des sections transversales *1, m, 2 et* sont indiquées en vert par les signes ***1_v, m_v, 2_v***. Seules les positions supérieure et inférieure peuvent être définies, la ligne de référence centrale se trouvant toujours à mi-chemin entre elles.

Définir la position des ouvertures

Les positions par défaut des sections transversales 1_v, m_v, 2_v sont déterminées en fonction des domaines de connexion. Celles-ci peuvent être modifiées en faisant glisser les lignes de référence ou elles peuvent être définies directement dans le projet après avoir cliqué sur l'icône *Position d'ouverture*. L'icône n'est disponible que dans le panneau *Forces internes* (si la *vue latérale est* sélectionnée).



Plus d'informations sur les sections transversales de référence

En utilisant les trois boîtes d'édition de l'onglet *Forces internes*, les positions peuvent être données par des valeurs exactes. Ces valeurs ne sont acceptées que si elles se situent entre les limites (lignes pointillées).

La position des flèches au-dessus des lignes bleues épaisses représente l'excentricité de la force de compression dans cette section transversale spécifique. La couleur des flèches est bleue, mais si la résistance de la section transversale n'est pas suffisante selon le projet, la couleur passe au rouge. Si la résistance ne peut être calculée en raison d'une erreur, la flèche n'est pas affichée.

☞ **Si les positions des sections transversales de référence changent, les forces internes considérées et les résultats d'étude changeront.**

Forces internes

Dans le *contrôle d'étude des* fenêtres des *murs en maçonnerie,* les diagrammes de force interne suivants sont présentés :

Section transversale verticale

- N_x Force axiale (force axiale d'étude)
- M_y Moment de flexion autour de l'axe *y* local
- DM_y Moment de flexion supplémentaire dû aux effets excentriques (calculé uniquement *si l*'option *Calcul des moments de flexion supplémentaires* est cochée sur la fenêtre *Murs en maçonnerie*)
- SM_y Moment de flexion d'étude (la somme du moment de flexion de la bande virtuelle et du moment de flexion supplémentaire)
- V_z Effort tranchant de la bande virtuelle perpendiculaire au plan du mur

Vue de côté

- N_x Force axiale (force axiale d'étude)
- M_z Moment de flexion autour de l'axe *z* local
- V_y Effort tranchant de la bande virtuelle dans le plan du mur

De fines lignes noires indiquent la position des sections transversales de référence sur les diagrammes des forces internes.

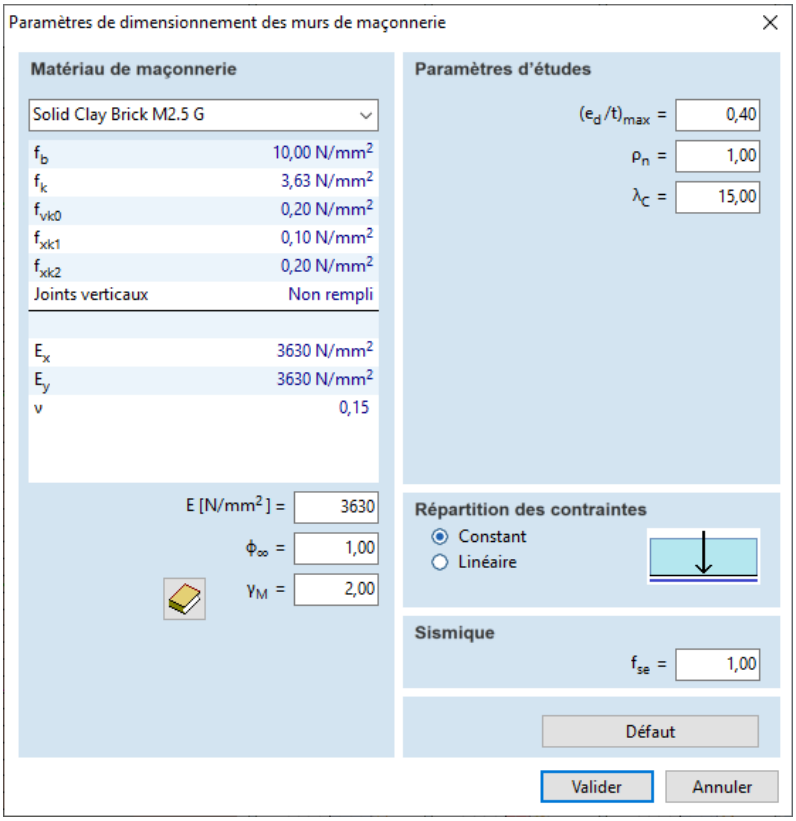
Panneau des résultats

Les résultats d'étude sont résumés dans un tableau sur l'onglet *Résultats.* Pour plus d'informations, voir... *6.9.1.6. Résultats*

Paramètres d'étude d'un mur en maçonnerie

Les paramètres d'étude de l'étage sélectionné peuvent être spécifiés dans la boîte de dialogue *Paramètres d'étude des murs en maçonnerie:*





Matériau de maçonnerie

Après la définition des étages, le module définit automatiquement le matériau du mur de maçonnerie en fonction du matériau des domaines concernés. Ce matériau par défaut peut être modifié ici.

Paramètres Matériaux modifiables

Les paramètres suivants peuvent être édités. (Les modifications apportées dans cette fenêtre ne modifient pas les paramètres du matériau du domaine. Ces valeurs ne sont utilisées que dans le contrôle d'étude de cet étage particulier du mur de maçonnerie sélectionné):

Eurocode

- *E* Le module de Young
- φ_∞ Valeur finale du coefficient d'élasticité
- γ_M Coefficient de sécurité de la résistance des matériaux

NTC

- γ_M Coefficient de sécurité de la résistance des matériaux

SIA 266

- E_{xk} Le module de Young
- γ_M Coefficient de la résistance des matériaux

☞ **Comme il est expliqué dans la section transversale précédente, le matériau de maçonnerie est sélectionné automatiquement après la définition des étages la première fois. Dans le cas de matériaux orthotropes, l'orientation des axes locaux doit être révisée.**

☞ **Toute modification de cette fenêtre liée au matériau du mur de maçonnerie n'implique pas le changement du matériau des domaines connectés à la bande virtuelle. Le matériau des domaines doit être modifié par l'utilisateur si nécessaire.**

Paramètres spécifiques du code d'étude

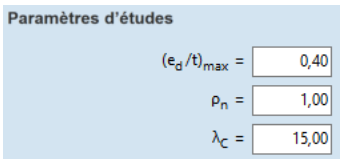
Eurocode 6

- $(e_d/t)_{max}$ - la valeur limite de l'excentricité relative (hors du plan ou dans le plan) de la force axiale:

Si l'excentricité relative est supérieure à cette valeur limite dans une section transversale quelconque, le contrôle d'étude échoue et la résistance de la section transversale est considérée comme insuffisante.

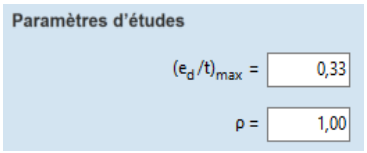
Dans le cas des sections transversales supérieure et inférieure, l'excentricité relative est calculée sur la base de l'épaisseur effective du mur et par rapport à son axe.

- ρ_n facteur de réduction tenant compte du flambement, la valeur par défaut est de 1,0,
- λ_C Valeur *du* rapport d'élancement jusqu'à laquelle les excentricités dues à l'élasticité peuvent être négligées.



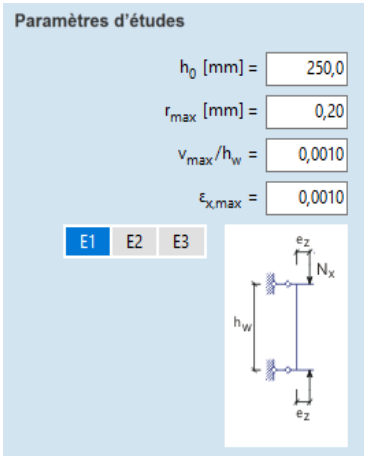
NTC

- $(e_d/t)_{max}$ - la valeur limite de l'excentricité relative,
- ρ facteur de réduction tenant compte du flambement, la valeur par défaut est de 1,0.



SIA 266

- h_0 est la somme de la hauteur de l'élément de maçonnerie et de la hauteur de la couche de mortier,
- r_{max} est la largeur maximale acceptable de la fissuration,
- $v_{max/hw}$ est le déplacement relatif autorisé compte tenu des sections transversales de référence 1_v et 2_v (où h_w *est* la distance entre les deux sections transversales de référence). Pour les valeurs maximales, voir le *tableau 8 de la* norme.
- $\varepsilon_{x\ max}$,valeur maximale autorisée selon le *tableau 8 de la* norme,
- les conditions limites *(E1 / E2 / E3)*.



Répartition des contraintes

Dans le cas de dalles d'un seul côté du mur la distribution des contraintes constantes et linéaires peut être considérée sous la force de réaction de la dalle. L'ensemble de la distribution des contraintes a un effet significatif sur le moment de flexion supplémentaire calculé.



Le moment de flexion supplémentaire est calculé comme le produit de la force de réaction de la dalle et de l'excentricité en fonction de la position de la résultante de la distribution des contraintes. La réaction de la dalle est calculée à partir de la différence entre les forces axiales des étages suivants.

☞ **La répartition des contraintes ne peut être sélectionnée que si l'option *Calcul des moments de flexion supplémentaires* est cochée dans la fenêtre *Murs en maçonnerie*.**

☞ **Dans le cas de l'étage supérieur, la force axiale totale au sommet est considérée comme la force de réaction de la dalle. Pour les structures à plusieurs étages, il est fortement recommandé d'utiliser des bandes virtuelles qui couvrent tous les étages si le mur est continu, sinon le logiciel ne peut pas calculer correctement les moments de flexion supplémentaires.**

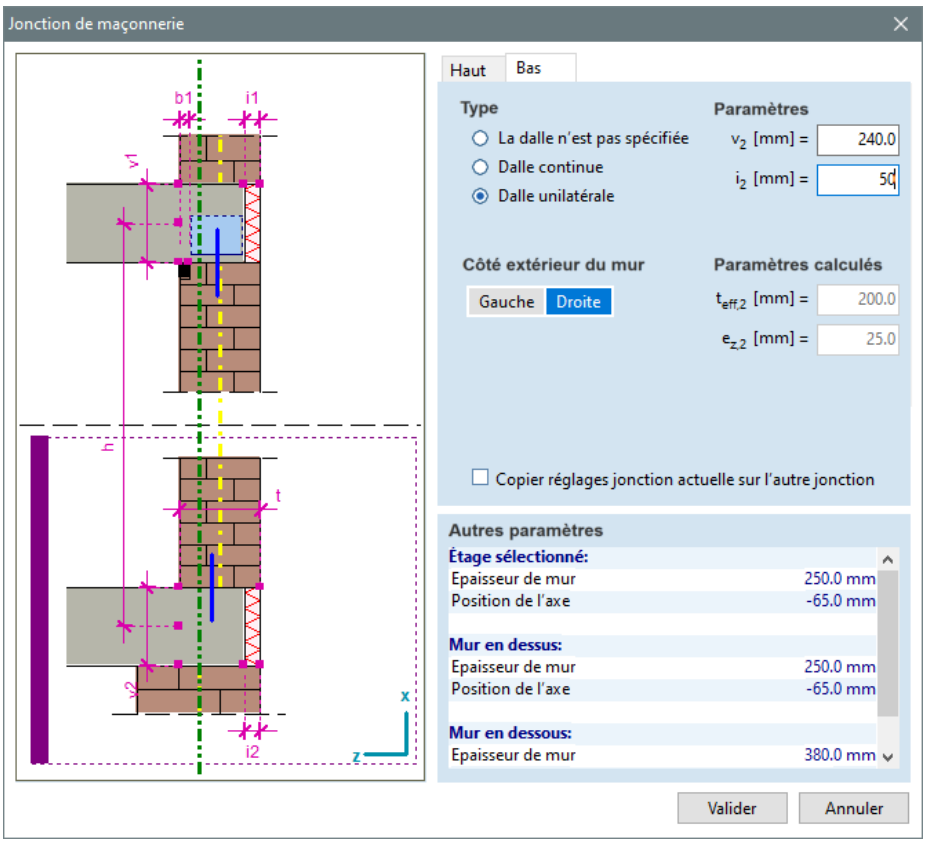
☞ **Si le code d'étude *SIA 266* est sélectionné, seule la distribution constante des contraintes peut être prise en compte.**

Sismique

Pour plus de détails sur le coefficient des forces sismiques, voir... *4.10.24. Charges sismiques - module SE1*.

Paramètres communs

Les paramètres des jonctions peuvent être spécifiés dans la fenêtre *Jonction de maçonnerie:*



Les deux dessins montrent les jonctions de maçonnerie supérieures et inférieures. Cliquez sur celui du haut ou du bas pour modifier la jonction active. Le cadre violet en pointillés indique la jonction active. Les paramètres de la jonction active peuvent être édités sur la droite.

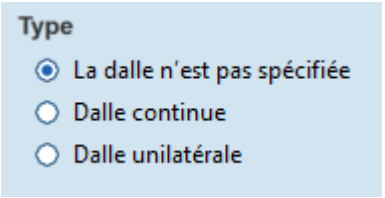
☞ **Si la souris est déplacée sur la jonction supérieure ou inférieure d'un mur en maçonnerie dans la fenêtre *Contrôle d'étude d'un mur en maçonnerie*, le curseur se transforme en symbole de main. Double-cliquez pour ouvrir la boîte de dialogue *Jonction de maçonnerie*.**

Type de dalle

Les cas possibles sont les suivants : *Dalle non spécifiée, Dalle continue, Dalle d'un seul côté.* Les autres paramètres dépendent du cas sélectionné. Les indices inférieurs indiquent la position de la jonction (*1* = haut ; *2* = bas).

La dalle n'est pas spécifiée

L'option "*Dalle non spécifiée*" peut être utilisée si l'utilisateur ne souhaite pas définir les paramètres de la dalle.



Paramètres optionnels :

$e_{1,N}$ est l'excentricité de la réaction de la dalle (elle provient du "saut" dans les forces axiales ou de la différence entre les forces axiales des étages ultérieures). (Ce paramètre n'est disponible que pour les jonctions supérieures). Le signe de l'excentricité est choisi en fonction du système de coordonnées de la bande virtuelle.

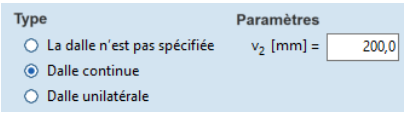
☞ $e_{rel,1}$ est l'excentricité relative basée sur l'épaisseur du mur (calculée).

L'excentricité relative calculée est révisée par rapport à la limite fixée dans les *paramètres d'étude* sans tenir compte des (autres) forces internes qui réduisent l'excentricité de la réaction de la dalle.

Lors de la vérification, dans la partie supérieure, l'épaisseur effective du mur est identique à l'épaisseur du mur de l'étage. Cette règle est également valable pour la section transversale inférieure, mais si l'épaisseur du mur sous l'étage étudié est inférieure à l'épaisseur du mur de l'étage réel, alors seule l'épaisseur du mur inférieur est prise en compte dans le calcul.

Dalle continue

Dans le cas de la dalle *continue*, on suppose que les charges de réaction de la dalle sont centrées. La hauteur de l'étage est calculée en tenant compte de l'épaisseur de la dalle.

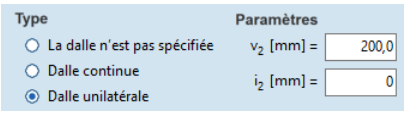


Paramètres optionnels :

- *v* est l'épaisseur de la dalle.

Dalle unilatérale

L'excentricité de la réaction de la dalle est calculée en tenant compte des paramètres de la jonction (par exemple, l'épaisseur de l'isolation thermique) et du type de distribution des contraintes comme décrit ci-dessus. La hauteur d'étage est calculée en tenant compte de l'épaisseur de la dalle.



Paramètres optionnels :

- *v* est l'épaisseur de la dalle,
- *i* est l'épaisseur de l'isolation thermique,
- *b* est la largeur de l'incrustation souple (uniquement pour la jonction supérieure)
- *Côté extérieur du mur (gauche/droite),* en accord avec le système de coordonnées local de la bande virtuelle sélectionnée,

Si l'option *Calcul des moments de flexion supplémentaires* est cochée dans la fenêtre *Murs en maçonnerie*, le logiciel affiche la répartition des contraintes définie sur le dessin.

Calculé paramètres

Le logiciel calcule et affiche les paramètres suivants :

- t_{eff} si l'épaisseur effective (compte tenu de l'épaisseur de l'isolation thermique et de la largeur de l'incrustation souple)
- e_z est la différence entre le centre de la surface efficace et le centre du mur.

Copier les paramètres réels de la jonction

L'option *Copie des paramètres réels de la jonction vers l'autre jonction permet de* copier les paramètres définis vers la jonction opposée de l'étage.

Autres paramètres

La liste des paramètres *supplémentaires* indique les paramètres pertinents qui ne peuvent être lus à partir des dessins.

Barre d'outils

Sauvegarder dans la Bibliothèque de dessins

Sauvegarde le dessin dans la Bibliothèque des dessins.



Paramètres d'étude de murs en maçonnerie

voir... *6.9.1.6. Résultats*.



Résultats d'étude

voir... *6.9.1.6. Résultats*.



Calculs d'étude

voir... *6.9.1.6. Résultats*.



Passer d'un étage à l'autre

L'étage enquêté peut être choisi dans la liste ci-dessous. Les flèches à côté de la liste peuvent être utilisées pour passer d'un étage à l'autre.

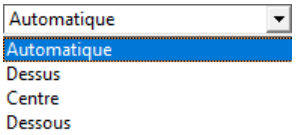




Cas de charge / combinaison

Dans la liste déroulante des combinaisons de charge, l'utilisateur peut sélectionner le cas de charge à afficher.

Interprétation des résultats en cas de combinaisons critiques ou d'enveloppe



En sélectionnant *Combinaison critique* ou *Enveloppe*, les résultats affichés appartiennent au cas de charge ou à la combinaison résultant de l'exploitation maximale basée sur les résultats de toutes les sections transversales. C'est le mode de fonctionnement par défaut, appelé *Auto*.
Il peut y avoir des cas où l'exploitation maximale de chaque section transversale de référence provient d'une combinaison différente, ce qui peut entraîner des malentendus si les résultats ne sont pas analysés en profondeur.
Pour afficher l'exploitation maximale d'une certaine section transversale de référence, sélectionnez une section transversale de référence dans la liste déroulante.

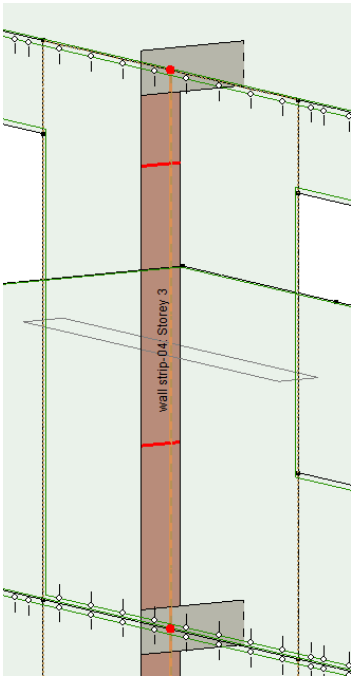
La combinaison résultant de l'exploitation maximale est affichée au-dessus des diagrammes de force interne.

☞ **Remarque: si l'on considère différentes combinaisons de charges, un diagramme de force interne continu ne peut pas être tracé et seuls les résultats de combinaisons de charges connexes peuvent être comparés et interprétés ensemble.**

Les résultats globaux des sections transversales peuvent être comparés et vérifiés simultanément dans le *tableau des résultats*.

☞ **Le rapport de calcul d'étude utilise la *position de référence* ou la fonction *Auto* sélectionnée ici. La fonction *Auto* est utilisée si le rapport de calcul d'étude a été créé à partir de la boîte de dialogue *Murs en maçonnerie*.**

6.9.1.5. Affichage de murs en maçonnerie dans le projet



Sur la base des paramètres définis ou attribués automatiquement, le logiciel affiche la section transversale verticale du mur. Il peut aider à contrôler les paramètres des jonctions et à interpréter un système de coordonnées de la bande.

Les cercles rouges sur l'axe de la bande virtuelle indiquent les limites des étages définies.

Des lignes rouges épaisses sur les sections transversales indiquent la position des sections transversales de référence supérieure et inférieure définies pour le dimensionnement du cisaillement.

6.9.1.6. Résultats

Les résultats d'étude des murs en maçonnerie sont disponibles de nombreuses façons.

Résultats des contrôles

Le résumé des résultats de l'étage étudié est indiqué dans l'onglet *Résultats* de la fenêtre *vérification d'étude des murs en maçonnerie*. Si une erreur se produit lors du contrôle d'étude, le module indique la source de l'erreur.

Le contenu de l'onglet Résultats dépend du code d'étude en vigueur. Dans le cas de *SIA* et *NTC*, l'étude et les courbes interpolées sont également présentées.

Sans contrôle de cisaillement

Lorsque le contrôle du cisaillement n'est pas demandé, le panneau des résultats apparaît comme suit:

Eurocode

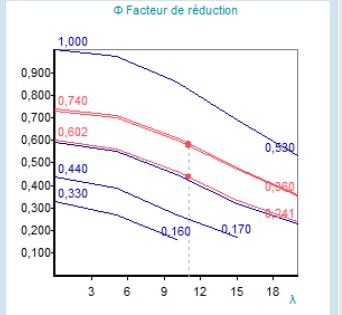
Efforts internes | Résultats

Synthèse de résultats	
Section critique	Centre
Taux d'exploitation	0,235
	vérifié!
Dessus	
N_{1d}	-90,172 kN
M_{1d}	0,141 kNm
$e_0 = e_{1d} + e_{he}$	-1,6 mm
Δz	0 mm
$e_{0,1}$	-1,6 mm
e_{init}	±6,2 mm
e_{min}	±12,5 mm
e_1	-12,5 mm
e_1/t	0,050
ϕ_1	0,900
N_{Rd1}	412,875 kN
Taux d'exploitation	0,218
	vérifié!
Centre	
N_{md}	-85,687 kN
M_{md}	0,792 kNm
$e_0 = e_{md} + e_{he}$	-9,2 mm
e_{init}	±6,2 mm
e_m	-15,5 mm
e_k	±0 mm
e_{min}	±12,5 mm
e_{mk}	-15,5 mm
e_{mk}/t	0,062
ϕ_m	0,794
N_{Rdm}	364,450 kN
Taux d'exploitation	**0,235**
	vérifié!
Dessous	
N_{2d}	-81,189 kN
M_{2d}	0,106 kNm
$e_0 = e_{2d} + e_{he}$	-1,3 mm
Δz	0 mm
$e_{0,2}$	-1,3 mm
e_{init}	±6,2 mm
e_{min}	±12,5 mm
e_2	-12,5 mm
e_2/t	0,050
ϕ_2	0,900
N_{Rd2}	412,875 kN
Taux d'exploitation	0,197
	vérifié!

NTC

Efforts internes | Résultats

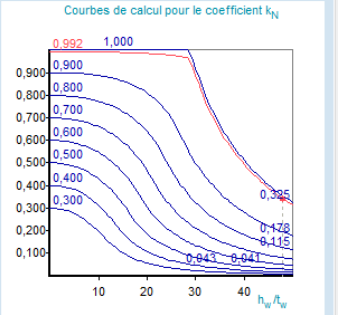
Synthèse de résultats	
Section critique	Dessous
Taux d'exploitation	0,204
	vérifié!
Dessus	
N_d	-40,699 kN
M_d	-0,363 kNm
e_0	8,9 mm
Δz	0 mm
$e_{0,1}$	8,9 mm
e_a	±17,5 mm
e_{min}	±17,5 mm
e_1	26,4 mm
e_1/t	0,088
ϕ	0,575
N_r	316,524 kN
Taux d'exploitation	0,129
	vérifié!
Centre	
N_d	-45,935 kN
M_d	-0,746 kNm
e_0	16,2 mm
$e_a/2$	±8,8 mm
e_{min}	±17,5 mm
e_2	25,0 mm
e_2/t	0,083
ϕ	0,584
N_r	321,546 kN
Taux d'exploitation	0,143
	vérifié!
Dessous	
N_r	-49,195 kN



SIA 266

Efforts internes | Résultats

Synthèse de résultats	
Combinaison	ELU
Section critique	Dessus
Taux d'exploitation	0,527
	vérifié!
Dessus	
N_{xd}	-157,145 kN
M_{zd}	0,155 kNm
e_z	-1,0 mm
e_z/t_w	0,004
$Max(e_z/t_w)$	0,350
h_w/t_w	48,000
Modèle structural	E1
k_N	0,341
N_{Rd}	298,219 kN
Taux d'exploitation	**0,527**
Dessous	
N_{xd}	-283,304 kN
M_{zd}	-3,265 kNm
e_z	11,5 mm
a	250,0 mm
N_{Rd}	875,000 kN
Taux d'exploitation	**0,324**
Attention:	**$\|e_z\| > 0$**

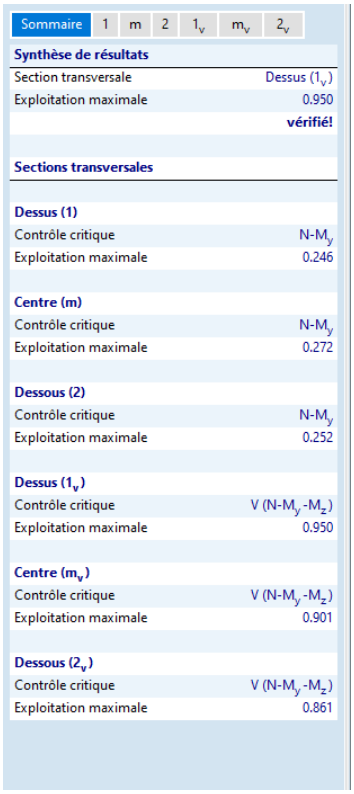


Résultats en cas de contrôle de cisaillement

En cas de contrôle du cisaillement, l'utilisateur peut choisir entre les types de résultats. Les résultats sommaires ou détaillés des différentes vérifications peuvent être affichés.

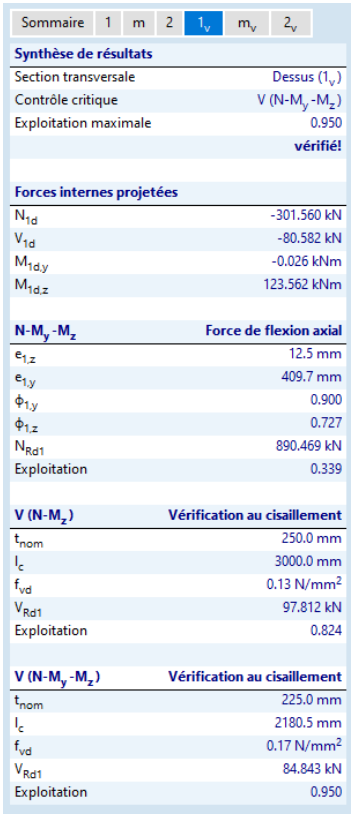
La liste de symboles horizontaux en haut résume les résultats d'étude en sections transversales de référence *1*, *m*, *2* et 1_v, m_v, 2_v (voir... *6.9.1.4. Contrôle de l'étude des murs en maçonnerie - définition des paramètres d'étude et de jonction*). Le fond des sections transversales vérifiées est gris, les sections transversales défaillantes sont rouges. La position sélectionnée est bleue si la section transversale est vérifiée, sinon elle reste rouge. La couleur de la police de l'emplacement sélectionné est toujours blanche.

Dans le cas de l'*Eurocode*, les options suivantes sont disponibles:



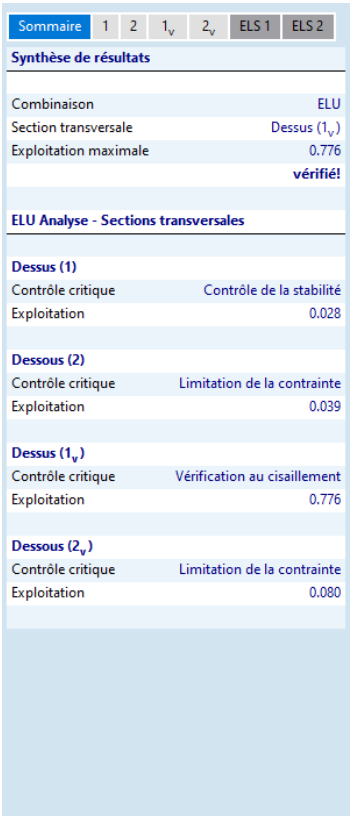
Sommaire	1	m	2	1_v	m_v	2_v

Synthèse de résultats	
Section transversale	Dessus (1_v)
Exploitation maximale	0.950
	vérifié!
Sections transversales	
Dessus (1)	
Contrôle critique	N-M_y
Exploitation maximale	0.246
Centre (m)	
Contrôle critique	N-M_y
Exploitation maximale	0.272
Dessous (2)	
Contrôle critique	N-M_y
Exploitation maximale	0.252
Dessus (1_v)	
Contrôle critique	V (N-M_y-M_z)
Exploitation maximale	0.950
Centre (m_v)	
Contrôle critique	V (N-M_y-M_z)
Exploitation maximale	0.901
Dessous (2_v)	
Contrôle critique	V (N-M_y-M_z)
Exploitation maximale	0.861



Sommaire	1	m	2	1_v	m_v	2_v

Synthèse de résultats	
Section transversale	Dessus (1_v)
Contrôle critique	V (N-M_y-M_z)
Exploitation maximale	0.950
	vérifié!
Forces internes projetées	
N_{1d}	-301.560 kN
V_{1d}	-80.582 kN
$M_{1d,y}$	-0.026 kNm
$M_{1d,z}$	123.562 kNm
N-M_y-M_z	**Force de flexion axial**
$e_{1,z}$	12.5 mm
$e_{1,y}$	409.7 mm
$\Phi_{1,y}$	0.900
$\Phi_{1,z}$	0.727
N_{Rd1}	890.469 kN
Exploitation	0.339
V (N-M_z)	**Vérification au cisaillement**
t_{nom}	250.0 mm
l_c	3000.0 mm
f_{vd}	0.13 N/mm^2
V_{Rd1}	97.812 kN
Exploitation	0.824
V (N-M_y-M_z)	**Vérification au cisaillement**
t_{nom}	225.0 mm
l_c	2180.5 mm
f_{vd}	0.17 N/mm^2
V_{Rd1}	84.843 kN
Exploitation	0.950

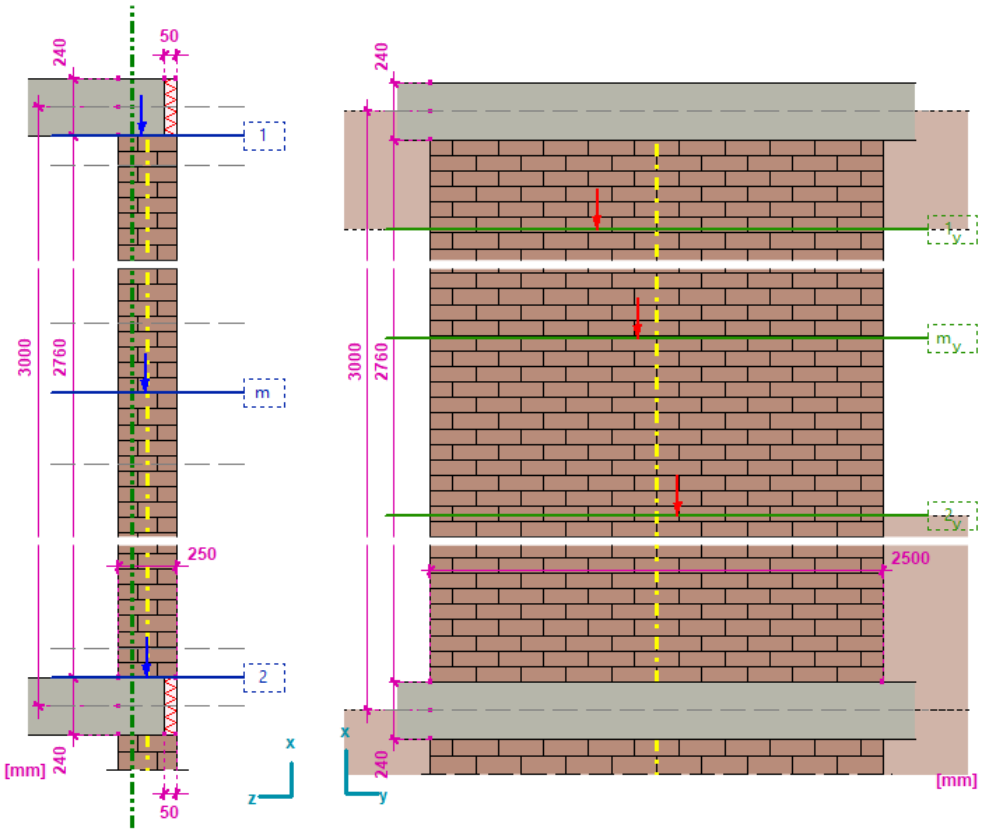


Sommaire	1	2	1_v	2_v	ELS 1	ELS 2

Synthèse de résultats	
Combinaison	ELU
Section transversale	Dessus (1_v)
Exploitation maximale	0.776
	vérifié!
ELU Analyse - Sections transversales	
Dessus (1)	
Contrôle critique	Contrôle de la stabilité
Exploitation	0.028
Dessous (2)	
Contrôle critique	Limitation de la contrainte
Exploitation	0.039
Dessus (1_v)	
Contrôle critique	Vérification au cisaillement
Exploitation	0.776
Dessous (2_v)	
Contrôle critique	Limitation de la contrainte
Exploitation	0.080

Résultats affichés sur la section transversale verticale ou sur la vue de côté

Pour chaque section transversale de référence, le programme indique sur sa ligne de référence le point d'action de la force verticale en fonction des forces internes (l'excentricité ne contient pas l'excentricité initiale / l'excentricité minimale).
Si la résistance de la section transversale de mur est suffisante, la couleur de la flèche est bleue, sinon, elle est rouge. Si la résistance verticale ne peut pas être calculée, la flèche n'est pas affichée.



Tableaux

Tableau des paramètres d'étude globale

Le tableau des paramètres d'étude *globaux* est disponible dans la boîte de dialogue *Vérification d'étude d'un mur en maçonnerie* et affiche les paramètres d'étude attribués aux bandes de mur en maçonnerie.



	Bande vir..	Nom	Nive..	Hauteur [m]	Section .. [m]	Section .. [m]	Large.. [mm]	Alignement	Calcul des moments..	Vérification..	h_{tot} [m]	α	Excentricité deuxieme o..	Point de.. [m]	ξ	k_y [kNm/rad]	Déformation
	1	wall strip-01	3	10,000	0	10,000	7000,0	Gauche	Modèle continu	✓	10,000	0,10	✓	0	1,00	–	Second-ordre 2
	2	wall strip-02	3	10,000	0	10,000	3000,0	Gauche	–	–	–	–	✓	0	1,00	–	Linéaire
	3	wall strip-03	3	10,000	0	10,000	2500,0	Gauche	Modèle articulé	–	–	–	✓	0	1,00	–	Linéaire
	4	wall strip-04	3	10,000	0	10,000	2500,0	Gauche	Modèle articulé	✓	10,000	0,30	–	–	–	–	–
	5	wall strip-05	3	10,000	0	10,000	1500,0	Gauche	Modèle articulé	✓	10,000	0,25	✓	0	1,00	–	Linéaire
	6	wall strip-06	3	10,000	0	10,000	1500,0	Gauche	Modèle articulé	✓	10,000	0,25	✓	0	1,00	–	Linéaire
	7	wall strip-07	3	10,000	0	10,000	1500,0	Gauche	Modèle articulé	✓	10,000	0,25	✓	0	1,00	–	Second-ordre 2
	8	wall strip-08	3	10,000	0	10,000	2300,0	Gauche	Modèle articulé	✓	10,000	0,25	✓	0	1,00	–	Linéaire
	9	wall strip-09	3	10,000	0	10,000	3000,0	Gauche	Modèle articulé	✓	10,000	0,25	–	–	–	–	–
	10	wall strip-10	3	10,000	0	10,000	3000,0	Gauche	Modèle articulé	✓	10,000	0,25	✓	0	1,00	–	Linéaire

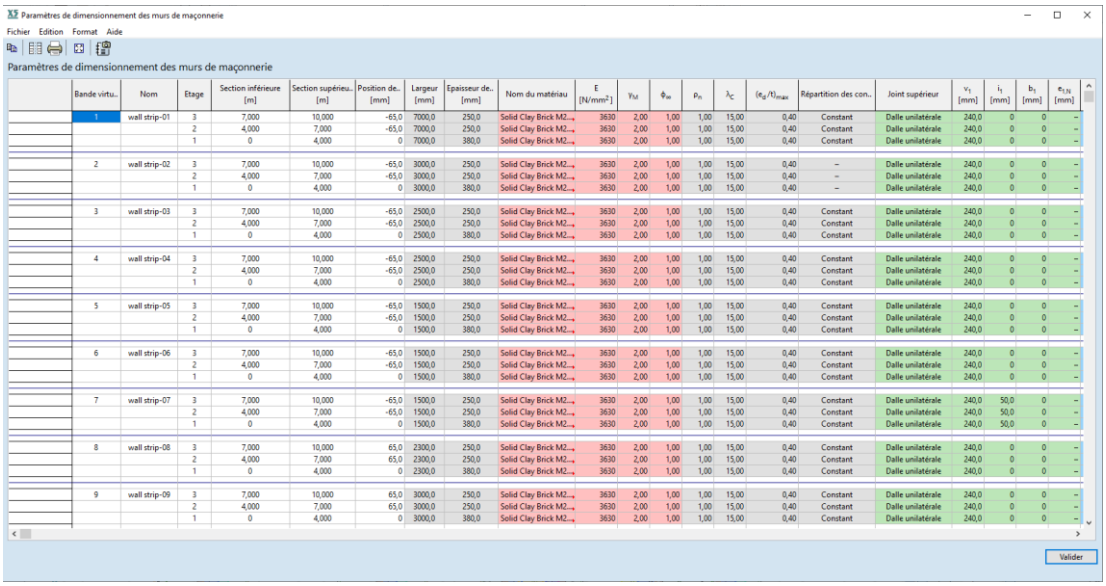
Le tableau peut être imprimé et sauvegardé dans la documentation.

Paramètres d'étude de murs en maçonnerie

Le tableau des *paramètres d'étude des murs en maçonnerie* est disponible à partir des dialogues *Vérification d'étude d'un mur en maçonnerie* et *Murs en maçonnerie*. Ce tableau indique les paramètres d'étude définis ou attribués automatiquement.



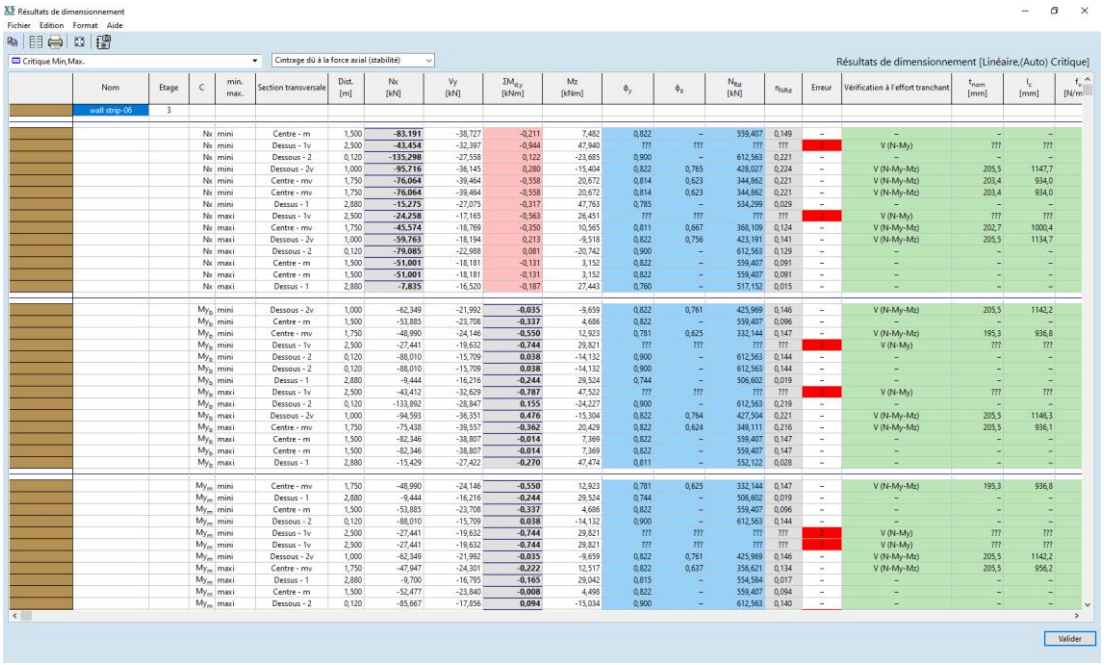
Si le tableau est ouvert depuis la fenêtre *Murs en* maçonnerie, il résume les paramètres de chaque mur en maçonnerie du projet, sinon seule la bande virtuelle étudiée est répertoriée avec ses étages.



Le tableau peut être imprimé et sauvegardé dans la documentation.

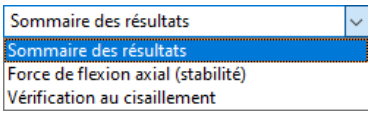
Résultats d'étude

Le tableau des *résultats d'étude est* disponible à la fois dans les dialogues *Vérification d'étude d'un mur en maçonnerie* et *Murs en maçonnerie*. Si le tableau est ouvert à partir de la fenêtre *Murs en maçonnerie*, les combinaisons de charges, d'enveloppes ou de charges critiques automatiques peuvent être sélectionnées dans une liste déroulante qui est prise en compte dans le contrôle d'étude. Après avoir modifié la sélection dans cette liste, la fenêtre effectue automatiquement les contrôles d'étude, ce qui peut ne prendre que quelques secondes. Sans contrôle du cisaillement, le tableau apparaît comme suit :



Le tableau peut être imprimé et sauvegardé dans la documentation.
Si un contrôle de cisaillement est demandé, le tableau est construit différemment en raison du nombre important de contrôles. Le type de résultat peut être sélectionné dans la liste déroulante située au-dessus du tableau.

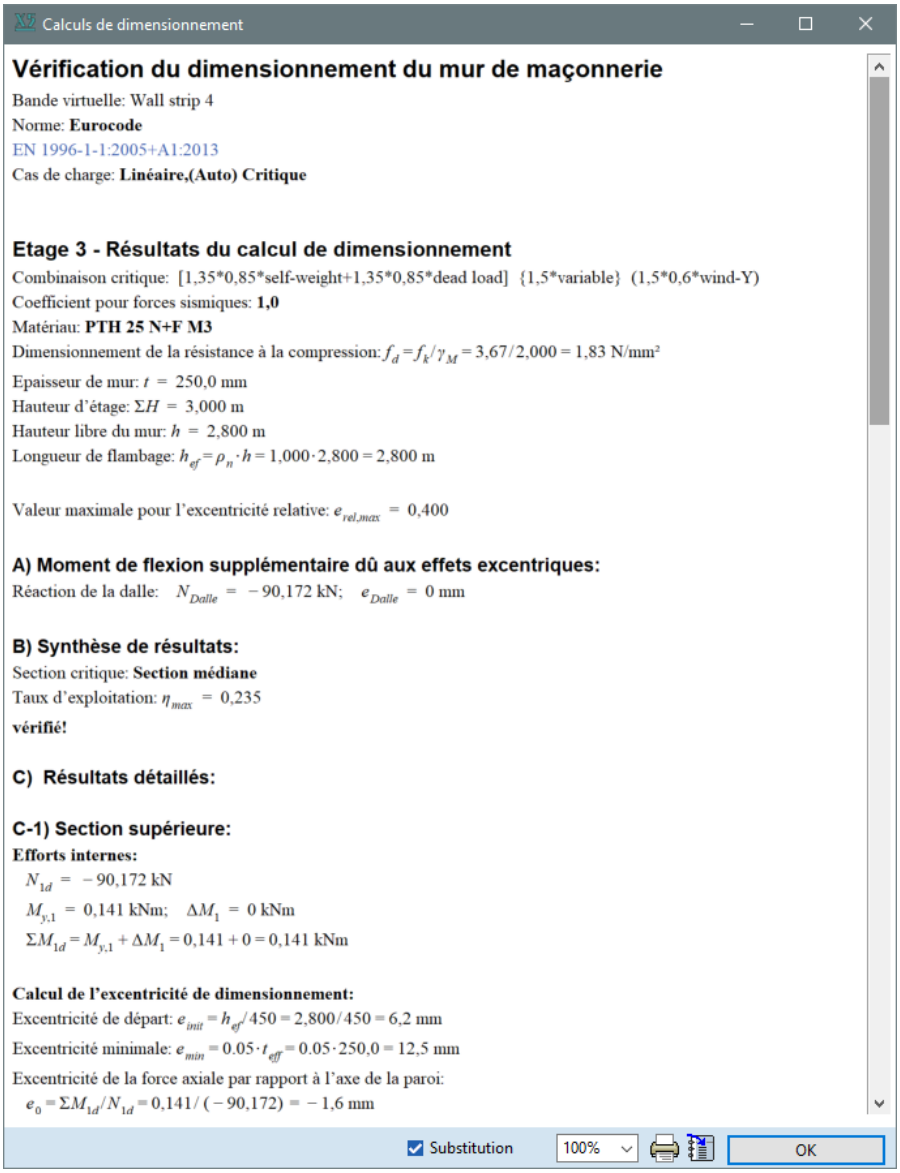
Dans le cas de l'Eurocode, les types de résultats suivants sont disponibles (*résumé des résultats*, *force axiale - flexion (stabilité)*, *vérification du cisaillement*).



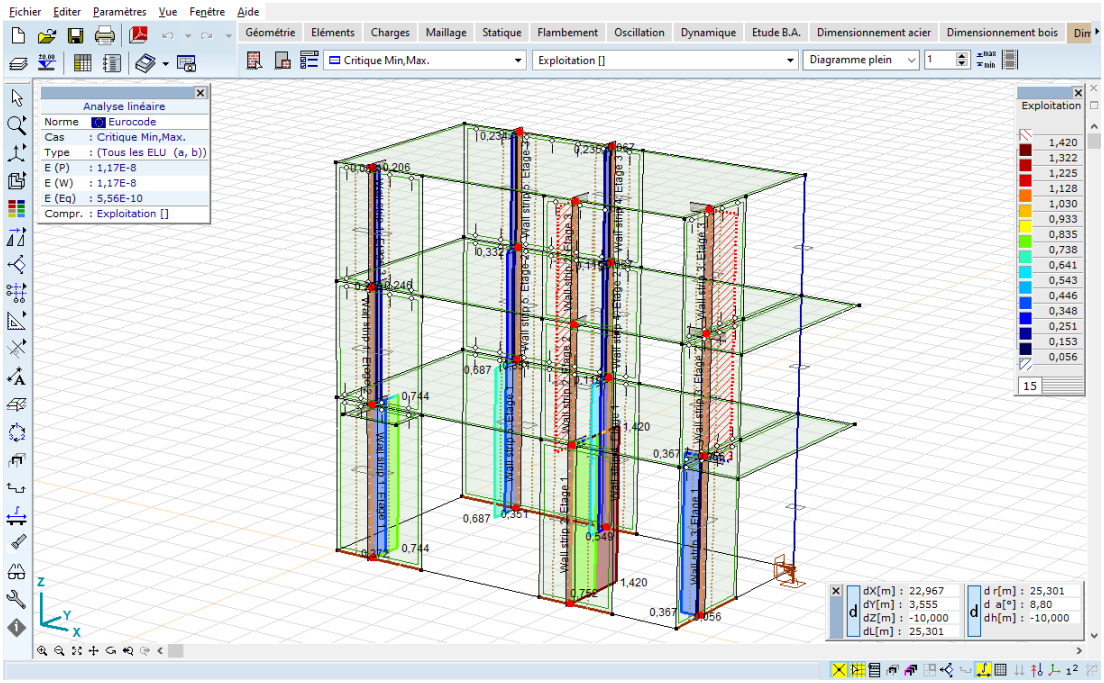
Calculs d'étude



Cliquez sur le bouton *Calculs d'étude* pour voir les détails d'étude. Le calcul peut être enregistré dans le rapport. Les *calculs d'étude sont* disponibles aussi bien via les fenêtres *vérification d'étude des murs en maçonnerie* et murs *en maçonnerie*.
S'il est ouvert depuis la fenêtre "*Murs en* maçonnerie", il résume les détails d'étude pour les étages sélectionnés de la bande de mur en maçonnerie réelle.
Si elle est ouverte à partir de la fenêtres *vérification d'étude des murs en maçonnerie*, seuls les résultats d'étude de l'étage étudié sont résumés.
Si le contrôle du cisaillement est demandé, le calcul d'étude contient plus d'unités de calcul et il apparaît sous une forme plus complexe. En cliquant sur l'icône *Calcul d'étude*, l'utilisateur peut spécifier les éléments à inclure dans la documentation :
Si la position de la section transversale de référence supérieure (*1 - 1v)*, centrale (*m - mv)* ou inférieure (*2 - 2v)* coïncide, seuls les résultats des sections transversales critiques sont détaillés.



Composant resultat de l'exploitation du mu ren maçonnerie



Si l'exploitation ne peut être calculée à aucun étage, le programme affiche une ligne pointillée rouge sur le côté négatif du diagramme indiquant l'erreur.

Résultats dans le Navigateur de tableaux

Les résultats de conception sont également disponibles dans le navigateur de tableaux (voir... *2.9 Navigateur de tableau*), où les résultats de chaque mur en béton armé sont disponibles dans des tableaux récapitulatifs.

6.9.1.7. Principes de contrôle

Vérification

Le logiciel peut effectuer deux types d'analyse avec les restrictions suivantes :

A. Contrôle d'étude des murs en maçonnerie soumis à des charges principalement verticales.
Dans cette vérification, seules les excentricités hors plan peuvent être prises en compte, la vérification du cisaillement n'est pas incluse. La vérification est basée sur les sections transversales de référence signées *1*, *m*, *2* (seules les excentricités perpendiculaires au plan du mur sont prises en compte, quelle que soit la largeur de la bande du mur, l'excentricité bidirectionnelle ne peut pas être analysée).

B. Contrôle d'étude des murs de contreventement en maçonnerie, qui contient une analyse complexe de la stabilité tenant compte de l'excentricité de la force axiale hors du plan et dans le plan, ainsi qu'un contrôle du cisaillement dans le plan.
Cette vérification concerne les sections transversales de référence signées *1v*, *mv*, *2v*, mais n'est effectuée que si un contrôle de cisaillement est demandé.

- La résistance à la traction de la maçonnerie perpendiculaire aux jonctions du lit est nulle.
- Seuls les murs à une seule feuille peuvent être examinés avec une épaisseur de mur constante le long d'un étage.
- Les moments de flexion supplémentaires dus aux effets excentriques (alignement des murs en cas d'épaisseur de mur différente, réglage des jonctions de maçonnerie, répartition des contraintes sous la réaction de la dalle) des réglages ne peuvent être calculés par des projets d'approximation que si les résultats du projet ne les contiennent pas. Les modifications de la rigidité dues aux effets excentriques ne peuvent pas être prises en compte.

Calcul étude des forces internes

Les forces internes d'une bande virtuelle sont calculées par l'intégration des forces internes du domaine en considérant la largeur totale de la bande.

La force axiale d'étude, la force de cisaillement et le moment de flexion dans le plan sont égaux à la force interne identique de la bande virtuelle (*Nx*, *Vy* et *Mz*).

Le moment de flexion d'étude hors plan est la somme du moment de la bande virtuelle M_y et du moment de flexion supplémentaire calculé par les projets approximatifs.

Les projets approximatifs disponibles sont les suivants :

Modèle à rotule :

Il s'agit d'un modèle de poutre simple avec des rotules inférieures. Les murs sont soutenus latéralement à chaque étage.

Modèle continu :

Le moment de flexion supplémentaire calculé à l'aide d'un modèle de poutre continue qui implique tous les murs. Les murs sont soutenus latéralement sur chaque étage, la jonction inférieure de l'étage inférieur étant censé être fixe.

☞ **Dans ces modèles, seules les propriétés de rigidité linéaire des murs sont prises en compte, et la rigidité est censée être constante pour un étage. Les différentes rigidités des dalles de liaison et des appuis latéraux ne peuvent pas être prises en compte.**

☞ **Dans la norme SIA, seul le *modèle à rotule* est disponible.**

Spécifications Standard

Les règles de vérification spécifiques des normes disponibles voir... *6.9.1.8* - *6.9.1.10*

6.9.1.8. Contrôle d'étude selon l'Eurocode 6

Conventions d'appellation

Lors du contrôle d'étude, on distingue 6 sections de référence différentes :

- Les sections de référence 1, m, 2 sont identiques aux sections d'étude expliquées dans le chapitre 6.1 de l'Eurocode (sections du haut, du milieu et du bas) ;
- Les sections 1_v, m_v, 2_v sont les sections du haut, du milieu et du bas et sont utilisées pour le contrôle du cisaillement.

Contrôle de la stabilité

- Dans le cas des sections de référence signées avec 1, m et 2, seules les excentricités hors plan de la force axiale sont prises en compte dans l'analyse. Pour les sections 1_v, m_v, 2_v, les deux excentricités (hors du plan et dans le plan) sont prises en compte. Les deux cas sont examinés ensemble ci-dessous.

Principes généraux

Compte tenu des principes généraux de la norme (chapitre *6.1.*), le programme effectue les vérifications suivantes :

La résistance de la section transversale de mur est adéquate si le critère suivant

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

et les règles de détail sont respectées.

La formule suivante est appliquée pour déterminer la résistance verticale d'un mur :

$$N_{Rd} = \Phi_y \cdot \Phi_z \cdot t \cdot b \cdot f_d$$

où Φ_y et Φ_z sont les facteurs de réduction liés à la direction *y* et *z*. (Dans le cas des sections transversales de référence *1*, *m* et *2*, le facteur de réduction de la capacité Φ_z = 1 car l'excentricité dans le plan n'est pas prise en compte).

Dans les parties supérieures et inférieures, le facteur de réduction de la capacité est calculé en fonction de l'épaisseur effective des murs - t_{eff} (voir réglages des jonctions de maçonnerie).

En cas de vérification du cisaillement, si la section transversale supérieure 1_v ou inférieure 2_v est ajustée à un coin de l'ouverture intérieure et que la distance entre la section transversale de référence (1_v ou 2_v) et le haut/bas du mur est supérieure à la largeur du mur, la section transversale est considérée comme une section transversale "médiane" lors de la vérification. La section transversale de référence m_v *est* toujours considérée comme une section transversale "médiane".

La résistance à la compression d'étude est : $f_d = f_k/\gamma_M$

Si la section transversale d'une bande de mur est inférieure à 0,01 m^2, la résistance à la compression nominale doit être abaissée : $f_{d,red} = f_d \cdot (0{,}7 + 3A)$où *A est* la surface de la section transversale brute horizontale chargée du mur, exprimée en mètres carrés.

Dans le module, seule la section transversale de la bande virtuelle peut être prise en compte, quelle que soit la largeur totale du domaine concerné.

Vérification Au haut ou au bas du mur

Les excentricités d'étude, les facteurs de réduction et la résistance verticale des sections transversales sont calculés comme suit:

Excentricité Hors du plan

L'excentricité d'étude est calculée par l'équation suivante :

$$e_{i,z} = \frac{M_{id,y}}{N_{id}} + e_{he,z} + e_{init,z} \geq 0{,}05 \cdot t$$

où $e_{i,z}$ est l'excentricité en haut (*i=1*) ou en bas (*i=2) de la* paroi.

Le programme ne sépare pas les excentricités en fonction du type de charge (verticale/horizontale) et indique la somme de celles-ci dans le calcul comme suit. L'excentricité est basée sur les forces internes calculées par rapport à l'axe de la paroi :

$$e_{0,z} = \frac{M_{id,y}}{N_{id}} + e_{he,z}$$

Lors de la vérification, le programme applique une épaisseur de mur réduite (t_{eff}), si ce n'est pas toute la section transversale qui fonctionne (en raison des réglages des joints de maçonnerie). Dans ce cas, l'excentricité est calculée par rapport à l'axe de l'épaisseur efficace du mur :

$$e_{0,i,z} = e_{i,z} - \Delta z$$

Où Δz *est* la différence entre l'axe du mur et l'épaisseur effective du mur

(Si l'épaisseur t du mur n'est pas réduite en raison du réglage des jonctions, alors $t_{eff} = t$ et $e_{0,i,z} = e_{0,z}$.)

Compte tenu des règles de la norme et des marqueurs ci-dessus, l'excentricité calculée provient de l'expression suivante :

$$e_{i,z} = e_{0,i,z} + e_{init,z} \geq 0{,}05 \cdot t_{eff}$$

L'excentricité initiale est mesurée dans le sens défavorable par rapport à l'axe de l'épaisseur effective, l'excentricité minimale est calculée par t_{eff}.

Le facteur de réduction de capacité$\Phi_{i,y}$ *est* calculé comme suit:

$$\Phi_{i,y} = 1 - \frac{2 \cdot e_{i,z}}{t_{eff}}$$

excentricité Dans le plan

L'excentricité d'étude est calculée par la formule suivante :

$$e_{i,y} = e_{0,i,y} + e_{init,y} + e_{\Delta 2,y}$$

où $ei_{,y}$ *est* l'excentricité dans le plan de la force axiale dans la direction *y*.

L'excentricité initiale $e_{init,y}$ est calculée en suivant les règles du chapitre 5.3 de la norme EN 1996-1-1 5.3 en tenant compte de l'inclinaison initiale du bâtiment et des paramètres d'étude globale de la bande de maçonnerie.

L'excentricité de second ordre $e_{\Delta 2,y}$ est calculée en utilisant l'*annexe B de* la norme *EN 1996-1-1*.

Ces excentricités supplémentaires sont prises en compte dans le sens défavorable.

Le facteur de réduction de la capacité $\Phi_{i,z}$ *est* calculé comme suit:

$$\Phi_{i,z} = 1 - \frac{2 \cdot e_{i,y}}{b}$$

où *b est* la largeur totale du mur (bande).

En cas de combinaison de type sismique, le programme ne calcule pas automatiquement l'excentricité de second ordre. Ceci peut être pris en compte en utilisant l'indice de stabilité plastique disponible dans le tableau de la *sensibilité sismique des étages et en* suivant les réglementations correspondantes de la norme *EN 1998-1-1*.

Résistance verticale

Compte tenu de la largeur totale du mur *b,* la résistance verticale est la suivante :

$$\mathrm{N}_{Rd,i} = \Phi_{i,y} \cdot \Phi_{i,z} \cdot t_{eff} \cdot b \cdot f_d$$

Vérification dans le le milieu de la hauteur du mur

Les excentricités d'étude, les facteurs de réduction et la résistance verticale des sections transversales centrales sont calculés comme suit :

Excentricité hors du plan

L'excentricité étudiée est calculée par l'expression suivante :

$$e_{m,z} = \frac{M_{md,z}}{N_{md}} + e_{hm,z} \pm e_{init,z}$$

Le programme ne sépare pas les excentricités en fonction du type de charge (verticale/horizontale) et indique la somme de celles-ci dans le calcul comme suit. L'excentricité est basée sur les forces internes calculées par rapport à l'axe du mur :

$$e_{0,m,z} = \frac{M_{md,y}}{N_{md}} + e_{hm,z}$$

et l'excentricité due aux charges:

$$e_{m,z} = e_{0,m,z} \pm e_{init,z}$$

Enfin, l'excentricité étudiée provient de l'expression suivante :

$$e_{mk,z} = e_{m,z} + e_{k,z} \geq 0{,}05 \cdot t$$

Où *ek,z* est l'excentricité due au élasticité, mais elle ne doit être prise en compte que si l'élancement du mur dépasse la limite de λ_C:

$$\frac{h_{ef}}{t_{ef}} > \lambda_c$$

Dans ce cas

$$e_{k,z} = 0{,}002 \cdot \phi_\infty \cdot \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \sqrt{t \cdot e_{m,z}}$$

λ_C *est* spécifié dans l'annexe nationale (dans le programme, le paramètre λ_C peut être modifié si nécessaire).

Dans la norme ***NEN-EN 1996-1-1*** (***code néerlandais***), le critère suivant est pris en compte pour le calcul de $e_{mk,z}$:

$$e_{mk,z} = max\left\{e_{m,z} + e_{k,z};\ 0{,}05 \cdot t;\ \frac{h_{ef}}{300};\ 10\ \text{mm}\right\}$$

Le facteur $\Phi_{m,y}$ est calculé par l'annexe *G* (*G1...G4*) de la norme *EN 1996-1-1*.

Excentricité dans le plan

L'excentricité étudiée est calculée par la formule suivante :

$$e_{m,y} = e_{0,m,y} + e_{init,y} + e_{\Delta 2,y}$$

Où $e_{m,y}$ est l'excentricité dans le plan de la force axiale dans la direction *y*.

L'excentricité initiale $e_{init,y}$ est calculée en suivant les règles du chapitre 5.3 de la norme EN 1996-1-1 5.3 en tenant compte de l'inclinaison initiale et des paramètres d'étude globale fixés pour la bande de maçonnerie.
L'excentricité de second ordre $e_{\Delta 2,y}$ est calculée en utilisant l'*annexe B de* la norme *EN 1996-1-1*.
Ces excentricités supplémentaires sont prises en compte dans le sens défavorable.

Le facteur de réduction de la capacité $\Phi_{m,z}$ *est* calculé comme suit:

$$\Phi_{m,z} = 1 - \frac{2 \cdot e_{m,y}}{b}$$

Où *b est* la largeur totale du mur (bande).

En cas de combinaison de type sismique, le programme ne calcule pas automatiquement l'excentricité de second ordre. Ceci peut être pris en compte en utilisant l'indice de stabilité plastique disponible dans le tableau de la *sensibilité sismique des étages* et en suivant les réglementations correspondantes de la norme *EN 1998-1-1*.

Résistance verticale

Compte tenu de la largeur totale de la paroi *b,* la résistance verticale est la suivante :

$$\mathrm{N}_{Rd,i} = \Phi_{m,y} \cdot \Phi_{m,z} \cdot t \cdot b \cdot f_d$$

Règles d'étude et de détail

Les règles suivantes sont vérifiées :

- Elancement du mur : $\lambda \leq 27$.
- L'épaisseur minimale du mur selon l'annexe nationale. Elle n'est examinée que si une valeur spécifique est indiquée dans l'annexe nationale. Dans les cas où l'épaisseur minimale dépend du type de mur, le programme n'applique que le minimum des valeurs données.
- Surface minimale du mur : 0,04 m^2.
- L'excentricité relative maximale (elle n'est pas clairement réglementée dans la norme *EN 1996-1-1*). Dans le programme, la limite peut être fixée librement (voir *Paramètres d'étude*). Le réglage par défaut est : $e_{rel,max}$ = 0,40 (une seule valeur peut être définie, et elle est prise en compte dans les trois sections transversales).

Vérification

- en haut (*i=1*) ou en bas (*i=2*):

$$e_{rel,i} = \frac{e_i}{t_{eff}} \leq e_{rel,max}$$

- au milieu de la hauteur du mur:

$$e_{rel,m} = \frac{e_{mk}}{t} \leq e_{rel,max}$$

L'excentricité relative est vérifiée dans les deux sens (*y* et *z*).

Contrôle de cisaillement

La capacité de cisaillement est calculée dans les sections transversales 1_v, m_v, 2_v à chaque étage en tenant compte des principes suivants.

Dans la norme *EN 1996-1-1,* la formule générale (*chapitre 6.2, 6.13)* pour le contrôle du cisaillement ne fournit pas d'instructions claires pour traiter l'excentricité hors plan de la force axiale. Pour cette raison, deux contrôles de cisaillement différents sont exécutés (contrôle "*linéaire*" et "d'*interaction*"), dont la capacité de cisaillement la plus faible est considérée comme critique. Dans le calcul d'étude, seul le résultat de la vérification critique est documenté.

Contrôle linéaire de cisaillement

En cas de *contrôle linéaire du cisaillement*, la capacité est calculée par la formule détaillée au chapitre *6.2* de la norme *EN-1996-1-1*, mais l'excentricité hors plan de la force axiale est négligée (supposée être nulle)

$$\mathrm{V}_{Rd,i} = \mathrm{f}_{vd} \cdot t \cdot l_c$$

$V_{Rd,i}$ est la résistance au cisaillement de la section transversale de référence supérieure (1_v), moyenne (m_v) ou inférieure (2_v) (*l*'indice *i* indique la position de la section transversale *1, m, 2*),

l_c est la longueur de la partie comprimée du mur en supposant une distribution linéaire des contraintes.

f_{vd} est la valeur de calcul de la résistance au cisaillement de la maçonnerie basée sur la moyenne des contraintes verticales sur la partie comprimée du mur.

Interaction contrôle de cisaillement

En cas de contrôle du cisaillement par interaction, les excentricités sont considérées dans les deux directions et la longueur de la partie comprimée de la section transversale est calculée en supposant une distribution constante des contraintes :

$$\mathrm{V}_{Rd,i} = \mathrm{f}_{vd} \cdot t_{nom} \cdot l_c$$

$V_{Rd,i}$ est la résistance au cisaillement de la section transversale de référence supérieure (*1v)*, moyenne (*mv)* ou inférieure (*2v) (l*'indice *i* indique la position de la section transversale *1, m, 2*),

t_{nom} est la largeur de la partie comprimée de la paroi compte tenu de l'excentricité hors plan,

l_c est la longueur de la zone comprimée calculée par excentricité dans le plan.

Sur la base des résultats du test de stabilité :

$$l_c = \Phi_{i,z} \cdot b$$

$$t_{nom} = \Phi_{i,y} \cdot t$$

f_{vd} est la valeur de calcul de la résistance au cisaillement de la maçonnerie basée sur la moyenne des contraintes verticales sur la partie comprimée du mur.

☞ **Lors du calcul de la résistance par les méthodes ci-dessus, si la section transversale de référence 1_v *ou* 2_v *est* considérée comme une section transversale "*supérieure*" ou "*inférieure*" dans la vérification (distance entre le niveau supérieur/inférieur et la position de la section transversale de référence inférieure à la largeur de la paroi), l'épaisseur de mur t_{eff} abaissée est prise en compte dans le calcul.**

Notes pour le résultat du contrôle de cisaillement

En général, il n'y a qu'une légère différence entre les résultats des méthodes ci-dessus, mais elle dépend de nombreux paramètres. Dans le cas du contrôle de l'interaction, la surface de la zone comprimée est plus faible, mais la résistance au cisaillement d'étude peut être plus importante en raison des contraintes verticales moyennes plus élevées. Cependant, la résistance au cisaillement d'étude est limitée par la résistance au cisaillement maximale selon les *annexes nationales*.

En général, le contrôle de l'interaction donne la capacité critique (inférieure).

Messages d'erreur

Les messages d'erreur suivants apparaissent dans les résultats :

Affichage du message d'erreur :	*Interprétation de l'erreur :*
Pas passé !	La résistance du mur/de la section transversale n'est pas suffisante.
La force est en dehors de la section transversale	Le point d'action de la force verticale est en dehors de la section transversale.
L'excentricité relative est trop élevée.	Dans la section transversale, l'excentricité relative dépasse la limite (voir *paramètres d'étude*).
La section transversale est en traction.	La section transversale est en traction, la résistance verticale ne peut pas être calculée.
La force de compression axiale est nulle.	Dans la section transversale, la force de compression axiale est négligeable, inférieure à 0,1 kN.
L'élancement est trop élevé.	L'élancement du mur dépasse la limite selon la norme.
L'épaisseur du mur est insuffisante.	L'épaisseur du mur est inférieur à la limite fixée dans l'annexe nationale.
La section transversale de mur est insuffisante.	La surface de la section transversale du mur (section transversale de la bande virtuelle) est inférieure à la limite selon la norme.

6.9.1.9. Contrôle d'étude selon NTC

Principes généraux

Selon les principes généraux de la norme (*NTC 2018*), un mur doit être vérifié à trois endroits (en haut, à mi-hauteur du mur, en bas), comme dans l'*Eurocode 6*.

Dans la norme, il est supposé que le mur a des rotules en haut et en bas. L'utilisateur doit construire un tel projet avec les bons réglages qui suivent les directives de la norme.

Signes

Lors du contrôle d'étude, on distingue 6 sections transversales de référence différentes :

- les sections transversales de référence signées *1*, *m*, 2-es sont identiques aux sections transversales du dessin ou projet expliquées au chapitre *6.1* de l'*Eurocode* (sections transversales du haut, du milieu et du bas) ;
- Les sections transversales signées 1_v, m_v, 2_v sont les sections transversales du haut, du milieu et du bas et sont utilisées pour la vérification du cisaillement.

Contrôle de la stabilité

Dans le cas des sections transversales de référence signées avec *1*, *m* et *2*, seules les excentricités hors plan de la force axiale sont prises en compte dans l'analyse. Pour les sections transversales 1_v, m_v, 2_v, les deux excentricités (hors du plan et dans le plan) sont prises en compte. Les deux cas sont examinés ensemble ci-dessous.

La résistance de la section transversale de mur est adéquate si le critère suivant

$$\mathrm{N_d} \leq \mathrm{N_r}$$

et les règles de détail sont respectées.

Le programme utilise la formule suivante pour déterminer la résistance verticale d'un mur :

$$\mathrm{N}_r = f_{d,rid} \cdot t \cdot b$$

Et

$$\mathrm{f}_{d,rid} = \Phi_y \cdot \Phi_z \cdot f_d$$

où Φ_y et Φ_z sont les facteurs de réduction liés à la direction *y* et *z*. (Dans le cas des sections transversales de référence *1*, *m* et *2*, le facteur de réduction de la capacité $\Phi_{z=1}$ car l'excentricité dans le plan n'est pas prise en compte).

Dans les parties supérieure et inférieure, le facteur de réduction est calculé en fonction de l'épaisseur effective du mur (voir le réglage des jonctions de maçonnerie).

La résistance étudiée à la compression *est* $\mathrm{f_d} = \mathrm{f_k}/\gamma_\mathrm{M}$

En vérifiant sur le haut ou le bas du mur

Les excentricités étudiées, les facteurs de réduction de capacité et la résistance verticale des sections transversales sont calculés comme suit :

Excentricité Hors du plan

Dans la *NTC*, l'excentricité d'étude est calculée par l'équation suivante :

$$e_{1,z} = |e_{s,z}| + e_{a,z}$$

Où $e_{s,z}$ *est* l'excentricité des charges verticales dans la direction locale *z*.

Le programme ne sépare pas les excentricités en fonction du type de charge (verticale/horizontale) et indique la somme de celles-ci sous la forme $e_{0,z}$.

Lors de la vérification, le programme applique une épaisseur de mur réduite (t_{eff}), si ce n'est pas toute la section transversale qui fonctionne (en raison des réglages des jonctions de maçonnerie). Dans ce cas, l'excentricité est calculée par rapport à l'axe de l'épaisseur effective du mur :

$$e_{0,1,z} = e_{0,z} - \Delta z$$

Où Δz *est* la différence entre les axes du mur et l'épaisseur effective du mur.

(Si l'épaisseur *t* du mur n'est pas réduit en raison du réglage des jonctions, alors $\mathrm{t_{eff}} = \mathrm{t}$ et $\mathrm{e_{0,i,z}} = \mathrm{e_{0,z}}$.)

Enfin, l'excentricité étudiée provient de l'expression suivante :

$$e_{1,z} = e_{0,1,z} + e_{a,z}$$

Où $\mathrm{e_{a,z}} = \mathrm{h}/200$ (*h* est la hauteur de l'étage).

L'excentricité initiale $e_{a,z}$ est mesurée dans le sens défavorable par rapport à l'axe de l'épaisseur effective (t_{eff}).

Sur la base des paramètres initiaux, le facteur $\Phi_{i,z}$ est calculé par interpolation linéaire à l'aide du tableau figurant dans la norme (voir ci-dessous).

L'excentricité relative : $\mathrm{e_{rel,1,z}} = \mathrm{e_{1,z}}/\mathrm{t_{eff}}$ où t_{eff} est l'épaisseur effective du mur

Le coefficient d'excentricité *m est* calculé comme suit : $\mathrm{m} = 6 \cdot \mathrm{e_{rel,1,z}}$,

et l'élancement: $\lambda = \mathrm{h_0}/\mathrm{toù}\ \mathrm{h_0} = \varrho \cdot \mathrm{h}$.

Excentricité Dans le plan

L'excentricité dans le plan et le facteur de réduction de capacité sont calculés selon les principes de la norme *EN 1996-1-1* (voir détails ci-dessus).

Résistance vertical

Compte tenu de la largeur totale du mur *b,* la résistance verticale est la suivante :

$$\mathrm{N}_r = \Phi_{1,y} \cdot \ \Phi_{1,z} \cdot f_d \cdot t_{eff} \cdot b$$

Verification dans le le milieu de la hauteur du mur

Les excentricités d'étude, les facteurs de réduction de capacité et la résistance verticale des sections transversales centrales sont calculés comme suit :

Excentricité hors du plan

L'excentricité etudiée est calculée par l'expression suivante :

$$e_{2,z} = \frac{e_{1,z}}{2} + e_{v,z}$$

Où $e_{2,z}$ est l'excentricité etudiée au sommet dans la direction locale *z,* $e_{v,z\,l}$excentricité est calculée à partir des charges horizontales.

Le programme ne sépare pas les excentricités en fonction du type de charge (verticale/horizontale) et indique la somme de celles-ci sous la forme $e_{0,z}$.

L'excentricité calculée provient de l'expression suivante :

$$e_{2,z} = e_{0,z} + \frac{e_{a,z}}{2} \geq e_{a,z}$$

Où $\mathrm{e_{a,z}} = \mathrm{h}/200$

Dans la formule ci-dessus, la moitié de $e_{a,z}$ est prise en compte dans le calcul en considérant le modèle à rotule recommandé dans la norme.

Si l'utilisateur utilise des rotules pour les domaines et applique également le modèle appelé *modèle de rotule* pour déterminer les moments de flexion supplémentaires, alors cette formule donne le même résultat que la norme. Les projets appliqués doivent être pris en compte par les utilisateurs.

Sur la base des paramètres initiaux, le facteur $\Phi_{2,z}$ est calculé par interpolation linéaire à l'aide du tableau figurant dans la norme (voir ci-dessous).

L'excentricité relative : $e_{rel,2,z} = \frac{e_{2,z}}{t}$ où *t est l'*épaisseur totale du mur

Le coefficient d'excentricité *m est* calculé comme suit : $m = 6 \cdot e_{rel,2,z}$,

et l'élancement: $\lambda = \frac{h_0}{t}$où $h_0 = \varrho \cdot h$.

Excentricité Dans le plan

L'excentricité dans le plan et le facteur de réduction de capacité sont calculés selon les principes de la norme *EN 1996-1-1* (voir détails ci-dessus).

Résistance verticale

Compte tenu de la largeur totale *b* du mur, la résistance verticale est la suivante :

$$N_r = \Phi_{2,y} \cdot \Phi_{2,z} \cdot f_d \cdot t_{eff} \cdot b$$

Tableau d'interpolation pour la détermination du facteurΦ_y

Le tableau suivant (donné dans la norme, Tab. 4.5.III) est utilisé pour déterminer le facteur Φ_y.

L'élancement -λ	*m = 6e/t*				
	0	*0,5*	*1,0*	*1,5*	*2,0*
0	1,00	0,74	0,59	0,44	0,33
5	0,97	0,71	0,55	0,39	0,27
10	0,86	0,61	0,45	0,27	0,16
15	0,69	0,48	0,32	0,17	-
20	0,53	0,36	0,23	-	-

Contrôle de cisaillement

La résistance au cisaillement est calculée selon les principes de la norme *EN 1996-1-1* (voir détails ci-dessus). La résistance au cisaillement, étudiée est déterminée selon la norme *NTC*.

Règles d'étude et de détail

Les règles suivantes sont vérifiées :

- Élancement du mur : $\lambda \leq 20$.
- Épaisseur minimale du mur : t ≥ 150 mm (seule cette valeur est prise en compte, la valeur minimale dépendant du type d'appareil n'est pas vérifiée).
- Surface minimale du mur : 0,04 m^2 (en appliquant la règle donnée par l'*Eurocode 6*).
- Excentricité relative maximale (la valeur par défaut est de 0,33, mais elle peut être modifiée).
  Vérification
  - En haut ou en bas :

$$e_{rel,1} = \frac{e_1}{t_{eff}} \leq 0{,}33$$

  - Au milieu de la hauteur du mur :

$$e_{rel,2} = \frac{e_2}{t} \leq 0{,}33$$

  L'excentricité relative est vérifiée dans les deux sens (*y* et *z*).

Messages d'erreur

Les messages d'erreur suivants apparaissent dans les résultats :

Affichage d'un message d'erreur :	*Interprétation de l'erreur :*
Pas passé !	La résistance du mur/de la section transversale n'est pas suffisante.
La force est en dehors de la section transversale.	Le point d'action de la force verticale est en dehors de la section transversale.
L'excentricité relative est trop élevée.	Dans la section transversale, l'excentricité relative dépasse la limite (voir *paramètres d'étude*).
La section transversale est en traction.	La section transversale est en traction, la résistance verticale ne peut pas être calculée.
La force de compression axiale est nulle.	Dans la section transversale, la force de compression axiale est négligeable, inférieure à 0,1 kN.

L'élancement est trop élevé.	L'élancement du mur dépasse la limite selon la norme.
L'épaisseur du mur est insuffisante.	L'épaisseur du mur est inférieure à la limite fixée dans l'annexe nationale.
La section transversale de mur est insuffisante.	La surface de la section transversale du mur (section transversale de la bande virtuelle) est inférieure, selon la norme.
Φ ne peut être calculé !	Φ ne peut être évaluée sur la base des paramètres initiaux de l'interpolation.

6.9.1.10. Contrôle de conception selon la norme SIA

Principes généraux

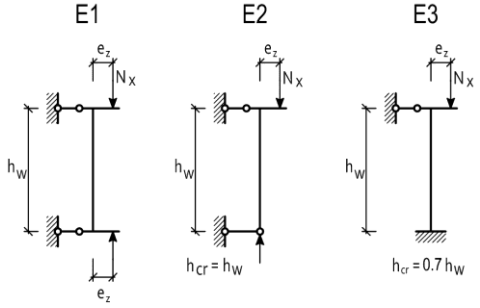
Les principes de la méthode de calcul du code d'étude *SIA 266: 2015* diffèrent sensiblement de la procédure décrite dans l'*Eurocode 6*. Sur la base de la norme, le mur doit être vérifié en état limite ultime et en état limite de service (ELU et ELS) également.

Le programme effectue une vérification ELU ou ELS selon le type de combinaison. Si le type n'est pas connu, les deux vérifications sont effectuées, mais seul le résultat de l'état critique est affiché.

Le code d'étude contient des contraintes sur le projet statique, l'utilisateur doit donc veiller au choix correct du projet statique. Pour les hypothèses, voir les détails ci-dessous.

En calculant le moment de flexion supplémentaire, seul le *modèle à rotule* est disponible, et seule la distribution constante des contraintes peut être appliquée.

Le projet statique appliqué (*E1*, *E2* et *E3*) doit être sélectionné car le programme ne peut pas le déterminer à partir du modèle



Signes d'étude des sections transversales

On distingue quatre sections transversales d'étude différentes dans la vérification

- Les sections transversales avec un signe de *1 (en haut)* ou de *2 (en bas),*
- Les sections transversales avec un signe de 1_v *(en haut)* ou 2_v *(en bas) pour la vérification du cisaillement.*

Vérification ELU

Dans la vérification ELU, le mur est vérifié en deux parties : en haut et en bas du mur. Quatre analyses différentes sont effectuées :

- La limitation des contraintes aux sections transversales *1* et 1_v,
- Vérification de la stabilité en tenant compte des forces internes de la bande virtuelle à la position de référence des sections transversales *1* et 2_v,
- La limitation des contraintes aux sections transversales *2* et 2_v,
- Contrôle de cisaillement à la section transversale supérieure (1_v).

Les vérifications des sections transversales 1_v et 2_v ne sont effectuées que si un contrôle de cisaillement est demandé.

Aux sections transversales *1* et *2 d'étude*, seule l'excentricité hors plan de la force axiale est prise en compte, mais aux sections transversales 1_v et 2_v, l'excentricité dans le plan est également prise en compte.

Limitation de la contrainte

Tout d'abord, l'excentricité relative est vérifiée selon la norme : (e_z/t_w) est limitée par la formule (*6)* et la figure 4 ($e_z/t_w \leq 0{,}375$). D'autre part, le programme calcul la capacité de charge en tenant compte de la zone comprimée du mur et la compare à la force axiale d'étude.

La largeur comprimée de la section transversale compte tenu de l'excentricité hors plan :

$$\mathrm{t}_{nom} = t - 2 \cdot e_{0,z}$$

Lors de la vérification, le programme applique une épaisseur de mur réduite (t_{eff}), si ce n'est pas toute la section transversale qui fonctionne (en raison des réglages des jonctions de maçonnerie).

$e_{0,z}$ qui est l'excentricité est calculée par rapport à l'axe de l'épaisseur effective du mur:

$$N_{Rd,nom} = l_c \cdot t_{nom} \cdot f_{xd}$$

Où l_c *est* égal à l_w lors de la vérification des sections transversales *1* et *2*. Dans le cas des sections transversales *1v* et *2v*, la longueur comprimée du mur est (*l=l2*) réduite en raison du moment de flexion dans le plan :

$$l_2 = l_w - \frac{2 \cdot M_{z,i,d}}{N_{xd}}$$

Contrôle de la stabilité

Dans le cas de la section transversale *1*, le programme suit les règles de la norme (*SIA 266:2015)* décrite au chapitre *4.3.1.3* (11):

$$N_{xd} \leq k_N \cdot l_w \cdot t_w \cdot f_{xd}$$

Dans le cas d'une section transversale *2v, la* formule (17, au chapitre *4.3.3.1*) est utilisée en tenant compte du moment de flexion dans le plan :

$$N_{xd} \leq k_N \cdot l_2 \cdot t_w \cdot f_{xd}$$

Où

- N_{xd} est la force verticale calculée au sommet du mur,
- l_w largeur du mur (dans le programme, elle est égale à la largeur de la bande virtuelle)
- t_w épaisseurs du mur
- f_{xd} est la résistance à la compression d'étude, $f_{xd} = f_{xk}/\gamma_M$
- l_2 longueur de la partie comprimée du mur en supposant une répartition constante des contraintes:

$$l_2 = l_w - \frac{2 \cdot M_{z2d}}{N_{xd}}$$

Le facteur de k_N est calculé par interpolation linéaire sur la base du projet statique défini (*E1*, *E2* et *E3*) en utilisant les courbes d'étude données dans la norme (*SIA 266:2015, figure 5*).

L'interpolation est déterminée par l'élancement relatif du mur (h_w / $_{tw}$ ou h_{cr} / t_w) et l'excentricité relative (e_z / t_w) calculée au sommet de la paroi.

En cas d'excentricité e_z, le logiciel suppose les éléments suivants :

- L'excentricité provient de l'excentricité de la réaction des dalles. La résultante de la force de réaction de la dalle se trouve dans l'axe de l'épaisseur effective du mur (épaisseur de paroi réduite compte tenu des réglages des jonctions de maçonnerie).
- L'excentricité de la force verticale exercée par le mur du dessus est supposée être nulle à la section transversale supérieure étudiée ($ez \approx 0$).

L'utilisateur doit examiner si ces approximations sont appropriées en fonction du projet construit et des paramètres.

Dans la norme, l'excentricité relative (e_z/t_w) est limitée par la formule (*6)* et la figure 4 ($e_z/t_w \leq 0{,}375$). Mais dans le programme, cette valeur est limitée à 0,35, en raison des limites de la courbe d'étude pour l'interpolation.

$$\frac{e_z}{t_w} \leq min\left\{\frac{1}{2} \cdot \left(1 - \frac{N_{xd}}{l_w \cdot t_w \cdot f_{xd}}\right); 0{,}35\right\}$$

Si ce règlement n'est pas respecté, la résistance verticale du mur ne peut pas être calculée.

☞ **La norme ne contient pas de méthode de contrôle similaire à l'*Eurocode 6* pour la section transversale médiane, de sorte que le mur n'est pas contrôlé pour les forces internes dans la section transversale médiane.**

Contrôle de cisaillement

La capacité de cisaillement est déterminée par la méthode fixée dans les paramètres de la bande de maçonnerie :

Selon les diagrammes de la norme SIA 266 :

Le programme suit les règles de la section *4.3.3.1 (SIA 266:2015)* et utilise la formule (18) :

$$V_d \leq k_V \cdot l_1 \cdot t_{nom} \cdot f_{yd}$$

Où

V_d est l'effort tranchant de conception dans la section transversale de référence *1v*

l_1 est la longueur de la partie comprimée compte tenu du moment de flexion dans le plan :

$$l_1 = l_w - \frac{2 \cdot M_{z1d}}{N_{xd}}$$

t_{nom} est la largeur de la zone comprimée due à la flexion hors du plan :

$$t_{nom} = t - 2 \cdot e_{0,y}$$

(Dans la vérification, le programme applique l'épaisseur de paroi réduite- t_{eff}, sinon toute la section fonctionne en raison des réglages des joints de maçonnerie).

f_{yd} est la résistance à la compression de conception dans la direction parallèle aux joints du bati ;

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_M}$$

Le coefficient de k_V est calculé par interpolation linéaire sur la base des courbes de conception données dans la norme *(SIA 266:2015, figure 9)*. h_w est la différence de hauteur des sections transversales 1_v et 2_v. Le logiciel effectue également une interpolation entre les 3 courbes données en fonction du rapport de f_{xd}/f_{yd} dans l'intervalle de 0,30...0,75.

Basé sur le calcul numérique :

En considérant les principes de base et les conditions aux limites de la section 4.3.2.1 (SIA 266:2015), le programme résout le système d'équations satisfaisant par méthode itérative pour trouver le champ de contraintes possible, ce qui donne la capacité de cisaillement maximale.

Messages d'erreur

Les messages d'erreur suivants apparaissent dans les résultats :

Affichage d'un message d'erreur :	*Interprétation de l'erreur :*
Pas passé !	La résistance du mur/de la section transversale n'est pas suffisante.
La force est en dehors de la section transversale.	Le point d'action de la force verticale est en dehors de la section transversale.
L'excentricité relative est trop élevée.	Dans la section transversale, l'excentricité relative dépasse la limite (voir paramètres d'étude).
La section transversale est en tension.	La section transversale est en tension, la résistance verticale ne peut pas être calculée.
La force de compression axiale est nulle.	Dans la section transversale, la force de compression axiale est négligeable, inférieure à 0,1 kN.
L'élancement est trop élevé.	L'élancement de la paroi dépasse les limites des courbes d'étude pour l'interpolation (hw/tw≤ 50 ou hcr/tw≤ 50), le facteur de *kN* ne peut pas être calculé.

Vérification du ELS

Le programme suit les règles de la norme (*SIA 266:2015)* décrites au chapitre *4.4.1.5* (21):

La largeur maximale de la fissuration peut être calculée par la formule suivante :

$$r = k_r \cdot \frac{N_x \cdot h_0}{E_{xk} \cdot l_w \cdot t_w}$$

Où

N_x est la force verticale sur le haut du mur,

h_0 est la hauteur totale de l'unité de maçonnerie et du mortier,

Modules d'élasticité d'$_{Exk,}$

l_w largeur du mur (dans le programme, elle est égale à la largeur de la bande virtuelle),

t_w épaisseurs du mur,

Le facteur k_r est calculé par interpolation linéaire sur la base du projet statique défini (*E1*, *E2* et *E3*) en utilisant les courbes d'étude données dans la norme (*SIA 266:2015, figure 12*).

L'interpolation est déterminée par l'élancement relatif du mur (h_w/h_E ou h_{cr}/h_E) et l'excentricité relative (e_y/t_w) calculée au sommet du mur.

Le paramètre de h_E est calculé comme suit :

$$h_E = \pi \cdot \sqrt{\frac{E_{xk} \cdot l_w \cdot t_w^3}{12 \cdot N_x}}$$

Le mu rest conforme pour les vérifications ELS, si $r \leq r_{max}$ où r_{max} *est* la largeur maximale de la fissuration conformément au point *4.2.2.2*. La valeur par défaut de la largeur maximale de la fissuration est de 0,2 mm, mais elle peut être fixée parmi les paramètres d'étude.

En cas de contrôle de cisaillement

Si le contrôle du cisaillement est demandé, la vérification du ELS est étendue selon le *point 4.4.2.1* de la norme *SIA 266:2015*.

Le déplacement relatif - la valeur de "*v*" selon la formule (22) - entre les sections transversales supérieure (*1v)* et inférieure (*2v)* est calculé par la déformation relative de la bande virtuelle.

La déformation maximale $\varepsilon_{x,max}$ est déterminée par la formule (23):

$$\varepsilon_{x.max} = \frac{6 \cdot (M_{z1} + V \cdot h_w)}{E_{xk} \cdot l_w^2 \cdot t_w} - \frac{N_x}{E_{xk} \cdot l_w \cdot t_w}$$

Le déplacement relatif et la contrainte maximale sont toujours déterminés par les sections transversales supérieure (2_v) et inférieure (2_v) définies pour la vérification du cisaillement.

Les résultats ci-dessus sont comparés aux limites fixées parmi les paramètres d'étude d'un étage.

Messages d'erreur

Les messages d'erreur suivants apparaissent dans les résultats :

Affichage du message d'erreur :	*Interprétation de l'erreur :*
Pas passé !	La résistance du mur/de la section transversale n'est pas suffisante.
L'excentricité relative est trop élevée.	Dans la section transversale, l'excentricité relative dépasse la limite de 0,35.
La section transversale est en traction	La section transversale est en traction, la résistance verticale ne peut pas être calculée.
La force de compression axiale est nulle.	Dans la section transversale, la force de compression axiale est négligeable, inférieure à 0,1 kN.
k_r ne peut pas être calculé !	Le facteur k_r ne peut pas être évalué sur la base des paramètres initiaux d'interpolation (h_w/h_E ou h_{cr}/h_E et e_z/t_w)

Règles d'étude et de détail

Les règles suivantes sont vérifiées lors de la vérification :

- L'élancement du mur : $\lambda \leq 50$ (limite des courbes d'étude du facteur k_N, $\lambda = h_w/t_w$ ou $\lambda = h_{cr}/t_w$).
- Excentricité relative maximale (limitée dans les courbes d'étude pour l'interpolation):
  $e_{rel,max}$ = 0,35.
  L'excentricité relative n'est vérifiée qu'à la section transversale supérieure :
  $$e_{rel,i} = \frac{e_z}{t} \leq e_{rel,max}$$
  où *t est* la section transversale efficace.

7. AxisVM Viewer et Viewer Expert

Visionneuse AxisVM

AxisVM Viewer est une version téléchargeable gratuitement du programme permettant de visualiser les projets sans possibilité de les modifier. L'impression de dessins, de tableaux ou de rapports n'est pas disponible.

Ce programme permet une présentation détaillée d'un projet dans un environnement où AxisVM n'a pas été installé.



Si vous ne voulez pas que d'autres personnes utilisent votre travail comme base pour leurs projets mais que vous souhaitez leur permettre de le voir, enregistrez le projet dans un format de fichier AxisVM Viewer (*.AXV) (voir *Fichier/Exportation*). La version du marché ne peut pas lire les fichiers AXV mais le Viewer le peut. Ce format garantit que votre travail sera protégé.

AxisVM Expert

Les propriétaires de la version commerciale d'AxisVM peuvent acheter la version Viewer Expert qui permet à l'utilisateur d'imprimer des diagrammes, des tableaux et des rapports ou de placer des lignes de cotes et des zones de texte temporaires. Aucune modification ne peut être enregistrée.

8. Programmation AxisVM - Module COM

AxisVM Com server

AxisVM, comme beaucoup d'autres applications Windows, supporte la technologie COM de Microsoft, ce qui rend ses opérations disponibles pour des programmes externes. Les programmes qui mettent en œuvre un serveur COM enregistrent leurs classes COM dans le registre Windows en fournissant des informations sur l'interface.

Tout programme externe peut obtenir ces descriptions, lire les propriétés des objets ou appeler les fonctions fournies par l'interface. Un programme peut lancer AxisVM, construire des projets, effectuer des calculs et obtenir les résultats par le biais du serveur COM AxisVM. C'est la meilleure façon de:

- Construire et analyser des projets paramétriques,
- Trouver des solutions à l'aide de méthodes itératives ou
- Construire des modules d'extension d'étude spécifique.

Les modules DLL placés dans le dossier *Compléments d*'AxisVM sont automatiquement inclus dans le menu Compléments en imitant la structure des sous-dossiers du dossier *Compléments*. La spécification du serveur COM d'AxisVM et les exemples de programmation sont téléchargeables sur le site web d'AxisVM, *www.axisvm.eu*

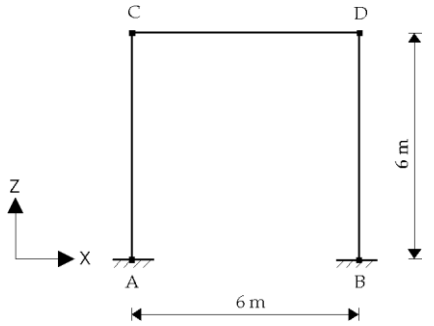
La programmation d'AxisVM via Python est prise en charge par le paquet PyAxisVM qui nécessite au moins la version 3.6 de Python. (*https://github.com/AxisVM/pyaxisvm*).

9. Exemples

9.1. Analyse statique linéaire d'une ossature plane en acier

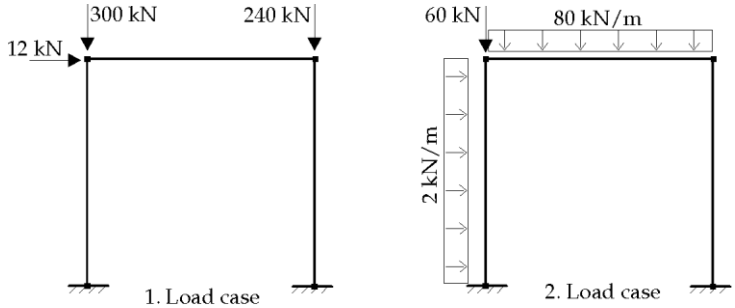
Données d'entrée **AK-ST-I.axs**

Géométrie:



Matériau: Acier
Section transversale: I 240

Les charges:



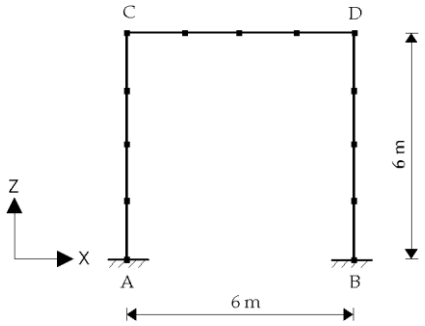
Résultats **AK-ST-I.axe**

Composant		Analytique	AxisVM
1 Lc.	$u_z^{(C)}$ [mm]	17.51	17.51
	$M_y^{(A)}$ [kNm]	-20.52	-20.52
2 Lc.	$u_z^{(C)}$ [mm]	7.91	7.91
	$M_y^{(A)}$ [kNm]	63.09	63.09

9.2. Analyse géométrique non linéaire statique d'une ossature plane en acier

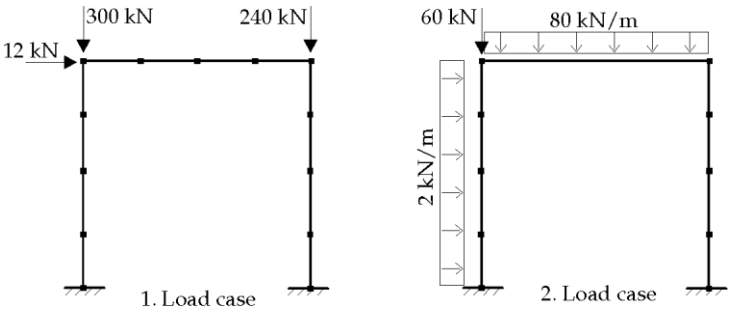
Données d'entrée **AK-ST-II.axs**

Géométrie:



Matériau : Acier
Section transversale : I 240

Les charges



Résultats **AK-ST-II.axe**

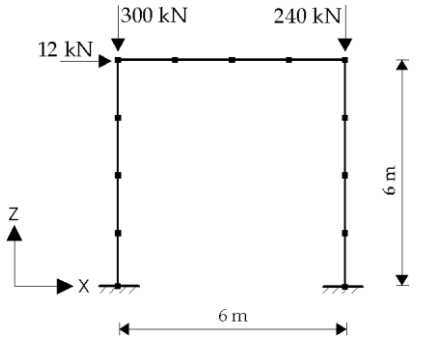
Composante		Avec des fonctions de stabilité	AxisVM
1 Lc.	$e_x^{(C)}$ [mm]	20.72	20.58
	$M_y^{(A)}$ (kNm)	-23.47	-23.41
2 Lc.	$e_x^{(C)}$ [mm]	9.26	9.22
	$M_y^{(A)}$ (kNm)	66.13	66.25

Vérifier L'équilibre doit être vérifié en tenant compte des déviations.

9.3. Analyse du flambement d'une ossature plane en acier

Données d'entrée **AK-KI.axs**

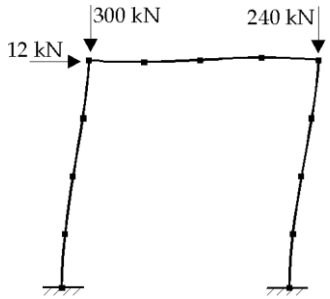
Géométrie et charges:



Matériau : Acier
Section transversale : I 240

Résultats **AK-KI.axe**

Mode de flambement

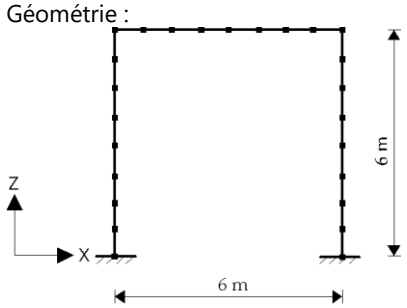


Paramètre de charge critique	Cosmos/M™	AxisVM
n_{cr}	6.632	6.633

9.4. Analyse des oscillations (1er Ordre) d'une ossature plane en acier

Données d'entrée **AK-RZ-I.axs**

Géométrie :



Matériau : Acier
Coupe transversale : I 240

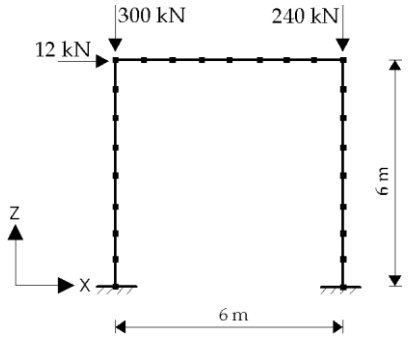
Résultats **AK-RZ-I.axe**

Mode	Fréquence [Hz]	
	Cosmos/M™	AxisVM
1	6.957	6.957
2	27.353	27.353
3	44.692	44.692
4	48.094	48.094
5	95.714	95.714
6	118.544	118.544

9.5. Analyse des oscillations (2d Ordre) d'une ossature plane en acier

Données d'entrée **AK-RZ-II.axs**

Géométrie et charges :



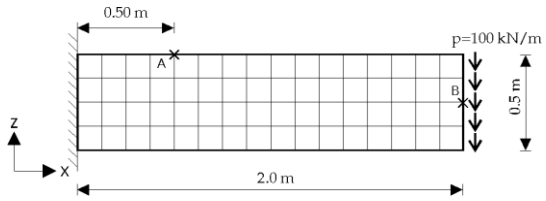
Matériau : Acier
Coupe transversale : I 240

Résultats **AK-RZ-II.axe**

Mode	Fréquence [Hz]	
	Cosmos/M™	AxisVM
1	0.514	0.514
2	11.427	11.426
3	12.768	12.766
4	17.146	17.145
5	27.112	27.109
6	39.461	39.456

9.6. Analyse statique linéaire d'un porte à faux en béton armé

Données d'entrée **VT1-ST-I.axs**



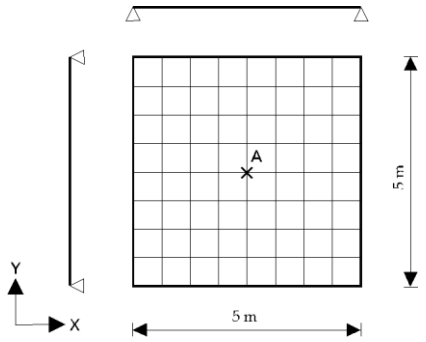
E=880 kN/cm2
ν=0
t=0,10 m
p=100 kN/m
Maillage : 4x16

Résultats **VT1-ST-I.axe**

Composante	La théorie des poutres (Déformations par cisaillement incluses)	AxisVM
[mm]	15.09	15.09
(kN/m)	1800.00	1799.86

9.7. Analyse statique linéaire d'une plaque en béton armé simplement supportée

Données d'entrée **VL1-ST-I.axs**

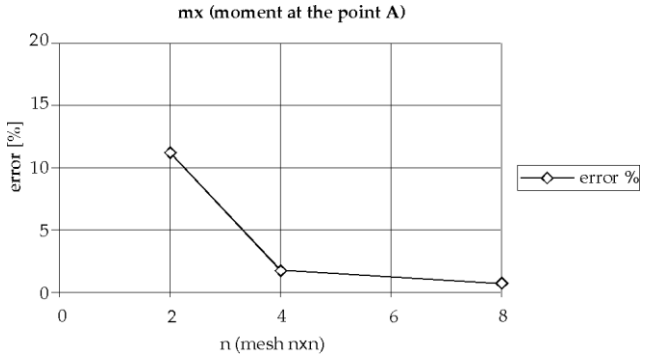


E=880 kN/cm2
ν=0
t=0,15 m
p=50 kN/m2
Maillage : 8x8

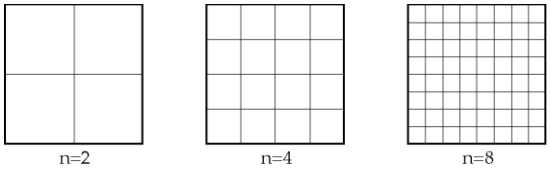
Résultats

Composante	Analytique (Déformations par cisaillement non incluses)	AxisVM (Déformations par cisaillement incluses)
w_A [mm]	51.46	51.46
$m_{x,A}$ [kNm/m]	46.11	46.31

Analyse de la convergence

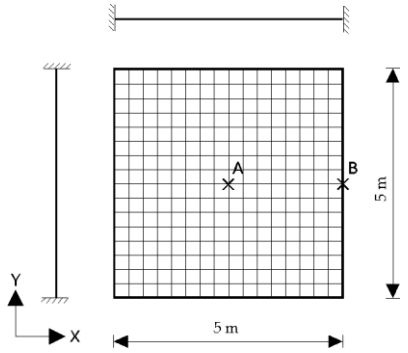


Des mailles :



9.8. Analyse statique linéaire d'une plaque de béton armé fixée

I *Données d'entrée* **VL2-ST-I.axs**

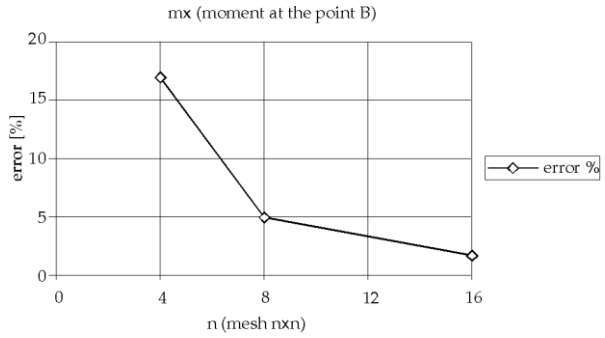


E=880 kN/cm2
ν=0
t=0,15 m
p=50 kN/m2
Maillage : 16x16

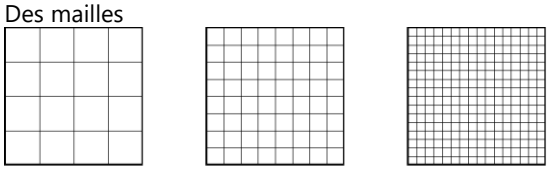
Résultats **VL2-ST-I.axe**

Composante	Analytique (Déformations de cisaillement non incluses)	AxisVM (Déformations par cisaillement incluses)
$e_z^{(A)}$ [mm]	16.00	16.18
$m_x^{(A)}$ [kNm/m]	22.01	22.15
$m_x^{(B)}$ [kNm/m]	64.43	63.25
$q_x^{(B)}$ [kN/m]	111.61	109.35

Analyse de la convergence



Des mailles



n=4 n=8 n=16

10. Références

1. **Bathe, K. J., Wilson, E. L.,** *Numerical Methods in Finite Element Analysis*, Prentice Hall, New Jersey, 1976
2. **Bojtár I., Vörös G.**, *A végeselem-módszer alkalmazása lemez- és héjszerkezetekre*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1986
3. **Chen, W. F., Lui, E. M.**, *Structural Stability*, Elsevier Science Publishing Co., Inc., New York, 1987
4. **Hughes, T. J. R.**, *The Finite Element Method*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1987
5. **Owen D. R. J., Hinton E.**, *Finite Elements in Plasticity*, Pineridge Press Limited, Swansea, 1980
6. **Popper Gy., Csizmás F.**, *Numerikus módszerek mérnököknek*, Akadémiai Kiadó · Typot$_e$x, Budapest, 1993
7. **Przemieniecki, J. S.**, *Theory of Matrix Structural Analysis*, McGraw Hill BoValider Co., New York, 1968
8. **Weaver Jr., W., Johnston, P. R.**, *Finite Elements for Structural Analysis*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1984
9. **Dr. Szalai Kálmán**, *Vasbetonszerkezetek, vasbeton-szilárdságtan*, Tankönyvkiadó, Budapest, 1990. 1998
10. **Dr. Kollár László:** *Vasbeton-szilárdságtan*, Műegyetemi Kiadó, 1995
11. **Dr. Kollár László:** *Vasbetonszerkezetek I., Vasbeton-szilárdságtan az Eurocode 2 szerint*, Műegyetemi Kiadó, 1997
12. **Dr. Bölcskei E., Dr. Dulácska E.:** *StatikusValider könyve*, Műszaki Könyvkiadó, 1974
13. **Dr. Dulácska Endre:** *KisValideros, Segédlet tartószerkezetek tervezéséhez*, BME Építészmérnöki Kar, 1993
14. **Porteous, J., Kermani, A.,** *Structural Timber Design to Eurocode 5,* Blackwell Publishing, 2007
15. **Dulácska Endre, Joó Attila, Kollár László:** *Tartószerkezetek tervezése földrengési hatásValiderra,* Akadémiai Kiadó, 2008
16. **Pilkey, W. D.,** *Analysis and Design of Elastic Beams - Computational methods,* John Wiley & sons, Inc., 2002
17. **Navrátil, J.,** *Precontrainteed Concrete Structures,* Akademické Nakladatelství Cerm®, 2006
18. **Szepesházi Róbert:** *Geotechnikai tervezés (Tervezés Eurocode 7 és a kapcsolódó európai geotechnikai szabványValider alapján),* Business Media Magyarország Kft., 2008
19. **Györgyi József:** *Dinamika*, Műegyetemi Kiadó, 2003
20. **Bojtár Imre, Gáspár Zsolt:** *Végeselemmódszer építőmérnököknek***,** Terc Kft., 2003
21. **Eurocode 2,** EN 1992-1-1:2010
22. **Eurocode 3,** EN 1993-1-1:2005
23. **Eurocode 3,** EN 1993-1-3:2006
24. **Eurocode 3,** EN 1993-1-5:2006
25. **Eurocode 5,** EN 1995-1-1:2004
26. **Eurocode 8,** EN 1998-1-1:2004
27. **Paz,M., Leigh, W.,** *Structural Dynamics - Theory and Computation*, Fifth Edition, Springer, 2004
28. **Chopra, A. K.,** *Dynamics of Structures - Theory and Applications to Earthquake Engineering*, Third Edition, Pearson Prentice Hill, 2007
29. **Biggs, J. M.,** *Introduction to Structural Dynamics*, McGraw-Hill, 1964
30. **Weaver, W.,** *Jr., P. R. Johnston, Structural Dynamics by Finite Elements*, Prentice-Hall, 1987
31. **Bathe, K. J.,** *Finite Element Procedures,* Prentice-Hall, 1996
32. **Borst, R., Crisfield, M. A., Remmers, J. J. C., Verhoosel, C. V.,** *Non-Linear Finite Element Analysis of Solids and Structures***,** Second Edition, John Wiley & Sons Ltd., 2012
33. **Willford, M.R., Young, P.** *A Design Guide for Footfall Induced Vibration of Structures, Concrete Society, 2006*
34. **Smith, A. L., Hicks, S. J., Devine, P. J.** *Design of Floors for Vibration: A New Approach, The Steel Construction Institute, Ascot, 2009*
35. **https://en.wikipedia.org/wiki/Von_Mises_yield_criterion**

36. **https://en.wikipedia.org/wiki/Bresler_Pister_yield_criterion**
37. **https://en.wikipedia.org/wiki/Whittaker%E2%80%93Shannon_interpolation_formula**
38. **https://en.wikipedia.org/wiki/Nyquist%E2%80%93Shannon_sampling_theorem**
39. **Wilson, E. L.,** *Three-Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures – A Physical Approach With Emphasis on Earthquake Engineering*, Computers and Structures Inc., Berkeley, 2002
40. **C. Basaglia, D. Camotim, N Silvestre**. *Torsion warping transmission at thin-walled frame joints: Kinematics, modelling and structural response, Journal of Constructional Steel Research (69), 2012*
41. **E. J. Sapountzakis.** *Bars under Torsional Loading: A Generalized Beam Theory Approach,* International Scholarly Research Notices, 2013
https://www.hindawi.com/journals/isrn/2013/916581/
42. **P. C. J. Hoogenboom, A. Borgart.** *Method for including restrained warping in traditional frame analyses,* ResearchGate, 2005
https://www.researchgate.net/publication/27347413_Method_for_including_restrained_warping_in_traditional_frame_analyses
43. **A. H. Varma.** *Structural Stability and Design*, Purdue University
https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fengineering.purdue.edu%2F~ahvarma%2FCE%2520579%2FSpring%25202005%2FCE%2520579_Lecture6_Jan31.ppt&wdOrigin=BROWSELINK
44. **G. Vörös.** *Free vibration of thin walled beams,* Periodica Polytechnica, Mechanical Engineering, 2004
https://www.researchgate.net/publication/228573555_Free_vibration_of_thin_walled_beams
45. **Cholnoky Tibor:** *Rugalmasságtan II. rész,* Tankönyvkiadó, 1969
46. **A. F. Hughes, D. C. Iles, A. S. Malik.** *Design of Steel Beams in Torsion in Accordance with Eurocodes and the UK National Annexes,* The Steel Construction Institute, 2011
https://www.steelconstruction.info/images/6/6f/Sci_p385.pdf
47. **Eurocode 3, EN 1993-6:2007**

Notes

Notes