

Calcul des **structures** en **bois**

Yves Benoit • Bernard Legrand • Vincent Tastet

Deuxième édition 2009

EYROLLES

© AFNOR et Groupe Eyrolles, 2009
ISBN AFNOR : 978-2-12-272121-6
ISBN Eyrolles : 978-2-212-12481-1

AFNOR

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|---|----------|
| Introduction | XXI |
| 1 Aborder l'eurocode 5 | 1 |
| 1. Organisation des eurocodes | 1 |
| 2. Les actions appliquées aux structures | 3 |
| 2.1 Actions permanentes G | 3 |
| 2.2 Actions variables Q | 3 |
| 2.2.1 Charges d'exploitation | 4 |
| 2.2.2 Charges de neige | 5 |
| 2.2.3 Effets du vent | 8 |
| 2.3 Actions accidentelles A_{Ed} | 36 |
| 2.4 Actions sismiques S | 36 |
| 3. Conditions de vérifications : les états limites | 37 |
| 3.1 État limite ultime (ELU) | 37 |
| 3.2 État limite de service (ELS) | 39 |
| 4. Combinaisons d'actions appliquées aux structures | 40 |
| 4.1 État limite ultime | 40 |
| 4.2 ELS | 41 |
| 4.3 Composantes des combinaisons | 41 |
| 4.3.1 Convention | 41 |
| 4.3.2 Applications résolues | 43 |
| 5. Classes de résistance du bois massif et du bois lamellé-collé | 45 |
| 6. Recherche des valeurs des résistances du bois | 49 |
| 6.1 Facteur k_{mod} (modificatif) | 49 |
| 6.2 Coefficient γ_M | 51 |
| 6.3 Calcul de la résistance | 52 |
| 6.4 Applications résolues | 52 |
| 6.4.1 Résistance en flexion d'une solive en résineux classé C24 supportant un plancher dans une maison (combinaison 1,35 G + 1,5 Q, classe de service 1) .. | 52 |
| 6.4.2 Résistance en flexion d'une solive en bois lamellé-collé classé GL28h supportant un plancher (combinaison 1,35 G + 1,5 Q, classe de service 1) .. | 52 |

| | | |
|-------|--|----|
| 6.4.3 | Résistance en compression axiale d'un poteau en résineux classé C24 supportant une toiture de préau | 53 |
| 6.4.4 | Résistance en compression transversale d'une traverse d'un aménagement extérieur (combinaison 1,35 G, classe de service 3) | 53 |
| 7. | Valeurs limites de flèches | 53 |
| 7.1 | Convention | 54 |
| 7.2 | Applications résolues | 56 |
| 8. | Variations dimensionnelles | 56 |
| 9. | Différence entre le principe de justification du critère de sécurité des Règles CB 71 et des ELU de l'EC 5 | 57 |
| 9.1 | Principe de vérification du critère résistance des Règles CB 71 | 57 |
| 9.2 | Principe de justification aux états limites ultimes des eurocodes 5 | 59 |
| 9.3 | Différence entre l'eurocode 5 et les Règles CB 71 | 60 |

2 Vérifier les sections 61

| | | |
|-------|--|----|
| 1. | La compression et la traction parallèle, perpendiculaire et d'un angle quelconque par rapport au fil du bois | 61 |
| 1.1 | Traction axiale | 61 |
| 1.1.1 | Système | 61 |
| 1.1.2 | Justification | 61 |
| 1.1.3 | Applications résolues | 63 |
| 1.2 | Traction transversale, perpendiculaire aux fibres | 65 |
| 1.3 | Compression axiale avec risque de flambement | 66 |
| 1.3.1 | Système | 66 |
| 1.3.2 | Justification | 67 |
| 1.3.3 | Applications résolues | 69 |
| 1.4 | Compression axiale des poteaux moisés | 77 |
| 1.5 | Compression avec flambement des structures assemblées .. | 78 |
| 1.5.1 | Les arcs à deux ou trois articulations | 78 |
| 1.5.2 | Les portiques avec jambes de force | 78 |
| 1.5.3 | Les portiques à deux ou trois articulations (inclinaison des poteaux < à 15°) | 79 |
| 1.6 | Compression transversale, perpendiculaire aux fibres | 80 |
| 1.6.1 | Système | 81 |
| 1.6.2 | Justification | 81 |
| 1.6.3 | Applications résolues | 83 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 1.7 | Compression oblique | 87 |
| 1.7.1 | Système | 87 |
| 1.7.2 | Justification | 88 |
| 1.7.3 | Application résolue | 89 |
| 2. | La flexion simple des poutres droites | 91 |
| 2.1 | Vérification de la résistance (ELU) | 92 |
| 2.1.1 | Système | 92 |
| 2.1.2 | Justification | 92 |
| 2.2 | Vérification des déformations (ELS) | 95 |
| 2.2.1 | Justification | 96 |
| 2.2.2 | Combinaison des actions pour vérifier la flèche instantanée W_{inst} (p. 13) | 97 |
| 2.2.3 | Combinaison des actions pour déterminer la flèche différée W_{creep} (p. 13) | 97 |
| 2.3 | Applications résolues | 98 |
| 2.3.1 | Solive d'un plancher d'une chambre | 98 |
| 2.3.2 | Solives d'un plafond donnant sur un comble non habitable | 104 |
| 2.3.3 | Panne d'aplomb sur trois appuis | 110 |
| 3. | Le cisaillement | 115 |
| 3.1 | Vérification des contraintes (ELU) | 116 |
| 3.1.1 | Système | 116 |
| 3.1.2 | Justification | 116 |
| 3.2 | Applications résolues | 121 |
| 3.2.1 | Solive d'un plancher d'une chambre | 121 |
| 3.2.2 | Panne d'aplomb sur trois appuis | 125 |
| 4. | Les sollicitations composées | 129 |
| 4.1 | Flexion composée, flexion et traction | 129 |
| 4.1.1 | Vérification des contraintes (ELU) | 130 |
| 4.1.2 | Application résolue : chevron-arbalétrier bloqué sur la panne faîtière | 131 |
| 4.2 | Flexion composée, flexion et compression | 135 |
| 4.2.1 | Vérification des contraintes (ELU) | 136 |
| 4.2.2 | Vérification des déformations (ELS) | 137 |
| 4.2.3 | Application résolue : chevron-arbalétrier bloqué sur la panne sablière | 137 |
| 4.3 | Flexion déviée | 142 |
| 4.3.1 | Vérification des contraintes (ELU) | 143 |
| 4.3.2 | Vérification des déformations (ELS) | 144 |
| 4.3.3 | Application résolue : panne déversée | 144 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 4.4 | Flexion déviée et comprimée | 148 |
| 4.4.1 | Vérification des contraintes (ELU) | 149 |
| 4.4.2 | Vérification des déformations (ELS) | 151 |
| 4.4.3 | Application résolue : panne déversée reprenant une poussée provoquée par le vent | 151 |
| 4.4.4 | Vérification des déformations (ELS) | 155 |
| 5. | La flexion des poutres à inertie variable et des poutres courbes ... | 155 |
| 5.1 | Poutres à simple décroissance | 155 |
| 5.1.1 | Vérification des contraintes (ELU) | 155 |
| 5.1.2 | Vérification des déformations (ELS) | 158 |
| 5.1.3 | Applications résolues : poutre à simple décroissance | 160 |
| 5.1.4 | Vérification des déformations (ELS) | 163 |
| 5.2 | Poutres à double décroissance, courbes et à inertie variable | 164 |
| 5.2.1 | Vérification des contraintes (ELU) | 164 |
| 5.2.2 | Vérification des déformations (ELS) | 171 |
| 5.2.3 | Applications résolues : poutre à double décroissance .. | 171 |
| 5.2.4 | Vérification des déformations (ELS) | 177 |
| 5.2.5 | Applications résolues : poutre à intrados courbe et à inertie variable | 179 |
| 5.2.6 | Vérification des déformations (ELS) | 186 |
| 5.2.7 | Applications résolues : poutre courbe à inertie constante | 187 |
| 5.2.8 | Vérification des déformations (ELS) | 192 |

3 Vérifier les assemblages par contact direct ou à entaille, vérifier la section du bois autour de l'assemblage 195

| | | |
|-------|--|-----|
| 1. | Assemblages par contact direct ou à entailles | 195 |
| 1.1 | Assemblage par embrèvement | 196 |
| 1.1.1 | Système | 196 |
| 1.1.2 | Justification | 198 |
| 1.1.3 | Application résolue : assemblage par embrèvement avant en pied de ferme | 203 |
| 1.1.4 | Justification | 208 |
| 1.2 | Assemblage par tenon-mortaise | 209 |
| 1.2.1 | Systématisation | 209 |
| 1.2.2 | Justification | 210 |
| 1.3 | Application résolue : assemblage d'un arbalétrier et d'une contrefiche par tenon-mortaise | 213 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 2. | Cisaillement et fendage | 217 |
| 2.1 | Cisaillement | 217 |
| 2.1.1 | Contrainte de cisaillement induite par la combinaison d'action des états limites ultimes en MPa | 218 |
| 2.1.2 | Résistance de cisaillement calculée en MPa | 218 |
| 2.2 | Fendage | 218 |
| 2.2.1 | $F_{90,Rd}$: résistance de calcul au fendage | 218 |
| 2.3 | Vérification du cisaillement et du fendage d'un assemblage poteau moise-traverse bois lamellé-collé | 220 |
| 2.3.1 | Cisaillement | 221 |
| 2.3.2 | Fendage | 222 |
| 2.4 | Vérification du cisaillement et du fendage d'un assemblage poutre BLC-ferrure métallique | 223 |
| 2.4.1 | Cisaillement | 224 |
| 2.4.2 | Fendage | 224 |

4 Assemblages par tiges227

| | | |
|-------|--|-----|
| 1. | Principe général de conception aux ELU | 228 |
| 1.1 | Caractériser l'assemblage | 228 |
| 1.2 | Calculer la valeur caractéristique de la capacité résistante $F_{V,Rk}$ | 228 |
| 1.3 | Définir le nombre de tiges | 228 |
| 1.4 | Conditions de pince | 229 |
| 1.5 | Vérifier la rupture de bloc, le cisaillement et le risque de fendage | 229 |
| 2. | Calcul des glissements d'assemblage aux ELS | 230 |
| 2.1 | Relation glissement d'assemblage-effort | 230 |
| 2.2 | Prise en compte du fluage | 230 |
| 2.3 | Jeu de perçage | 230 |
| 2.4 | Valeurs du module de glissement K_{ser} | 230 |
| 2.5 | Assemblage de deux pièces de bois (ou dérivé) de nature différente | 231 |
| 3. | Vérifications indépendantes du type de tige | 231 |
| 3.1 | Valeur caractéristique de la capacité résistante des tiges en fonction du mode de rupture pour un chargement latéral | 231 |
| 3.1.1 | Assemblages bois-bois ou bois-panneaux | 232 |
| 3.1.2 | Assemblages bois-métal | 240 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 3.2 | Valeur de calcul de la capacité résistante des tiges en fonction du mode de rupture pour un chargement latéral | 249 |
| 4. | Rupture de cisaillement de bloc | 249 |
| 4.1 | Résistance en traction | 250 |
| 4.2 | Résistance en cisaillement | 250 |
| 4.3 | Résistance en cisaillement de bloc | 251 |
| 4.4 | Vérification d'un assemblage avec risque de rupture de bloc | 252 |
| 4.4.1 | Résistance en traction | 253 |
| 4.4.2 | Résistance en cisaillement | 253 |
| 4.4.3 | Résistance en cisaillement de bloc | 254 |

5 Assemblages par pointes et agrafes257

| | | |
|-------|---|-----|
| 1. | Assemblages par pointes | 257 |
| 1.1 | Valeur caractéristique de la capacité résistante (chargement latéral et pointes perpendiculaires au fil du bois) | 258 |
| 1.1.1 | Pénétration des pointes dans le bois | 258 |
| 1.1.2 | Portance locale dans le bois et ses dérivés f- | 260 |
| 1.1.3 | Moment d'écoulement plastique de la tige (moment maximal que peut supporter la pointe) | 262 |
| 1.1.4 | Valeur caractéristique de la capacité résistante des tiges en fonction du mode de rupture | 262 |
| 1.1.5 | Nombre efficace de pointes | 263 |
| 1.2 | Pointes en bois de bout (pointes enfoncées parallèlement au fil du bois mais avec un chargement latéral) | 264 |
| 1.3 | Condition sur les espacements et distances | 264 |
| 1.4 | Valeur caractéristique de la capacité à l'arrachement (chargement axial et pointes perpendiculaires au fil du bois) | 266 |
| 1.5 | Chargement combiné (chargement latéral et axial) | 268 |
| 2. | Applications résolues : exemples d'assemblage sur ferme | 268 |
| 2.1 | Simple cisaillement : clous de 70 mm | 268 |
| 2.1.1 | Vérification des conditions de pénétration : 8d pour les pointes lisses | 269 |
| 2.1.2 | Valeur caractéristique de la capacité résistante $F_{V,Rk}$... | 269 |
| 2.1.3 | Définir le nombre de pointes | 270 |
| 2.1.4 | Conditions de pince | 271 |
| 2.2 | Calcul des déplacements (clous de 70 mm) | 274 |
| 2.2.1 | Calcul du module de glissement d'assemblage | 274 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 2.2.2 | Effort par pointe et par plan de cisaillement | 274 |
| 2.2.3 | Glissement instantané par pointe | 274 |
| 2.2.4 | Glissement instantané pour l'assemblage | 274 |
| 2.2.5 | Glissement final par pointe | 275 |
| 2.2.6 | Glissement final pour l'assemblage | 275 |
| 2.3 | Double cisaillement : clous de 100 mm | 275 |
| 2.3.1 | Vérification des conditions de pénétration : 6d pour les pointes torsadées | 275 |
| 2.3.2 | Valeur caractéristique de la capacité résistante $F_{V,Rk}$... | 276 |
| 2.3.3 | Définir le nombre de pointes | 277 |
| 2.3.4 | Conditions de pince | 277 |
| 2.4 | Calcul des déplacements (clous de 100 mm) | 279 |
| 2.4.1 | Calcul du module de glissement d'assemblage | 279 |
| 2.4.2 | Effort par pointe et par plan de cisaillement | 279 |
| 2.4.3 | Glissement instantané par pointe | 279 |
| 2.4.4 | Glissement instantané pour l'assemblage | 280 |
| 2.4.5 | Glissement final par pointe | 280 |
| 2.4.6 | Glissement final pour l'assemblage | 280 |
| 2.5 | Simple cisaillement : clous de 70 mm avec effet de corde .. | 280 |
| 2.5.1 | Calcul de $F_{ax,Rk}$: capacité caractéristique à l'arrachement | 281 |
| 2.5.2 | Valeur caractéristique de la capacité résistante $F_{V,Rk}$... | 281 |
| 2.5.3 | Définir le nombre de pointes | 283 |
| 2.5.4 | Conditions de pince | 283 |
| 2.6 | Calcul des déplacements (clous de 70 mm avec effet de corde) | 285 |
| 2.6.1 | Calcul du module de glissement d'assemblage | 285 |
| 2.6.2 | Effort par pointe et par plan de cisaillement (ELS) .. | 285 |
| 2.6.3 | Glissement instantané par pointe | 286 |
| 2.6.4 | Glissement instantané pour l'assemblage | 286 |
| 2.6.5 | Glissement final par pointe | 286 |
| 2.6.6 | Glissement final pour l'assemblage | 286 |
| 2.7 | Simple cisaillement : pointes lisses de 50 mm | 287 |
| 2.7.1 | Vérification des conditions de pénétration : 8d pour les pointes lisses | 288 |
| 2.7.2 | Calcul de $F_{ax,Rk}$: capacité caractéristique à l'arrachement | 288 |
| 2.7.3 | Valeur caractéristique de la capacité résistante $F_{V,Rk}$... | 288 |
| 2.7.4 | Définir le nombre de pointes | 290 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 2.7.5 | Conditions de pince (distances et espacements) | 291 |
| 3. | Applications résolus : justification d'un élément de contreventement | 295 |
| 3.1 | Clouage perpendiculaire à l'élément de contreventement ... | 295 |
| 3.1.1 | Simple cisaillement : clous de 140 mm | 295 |
| 3.1.2 | Calcul des déplacements (clous de 140 mm perpendiculaire à l'élément de contreventement) | 301 |
| 3.2. | Clouage perpendiculaire à la panne | 301 |
| 3.2.1 | Simple cisaillement : clous de 140 mm | 301 |
| 3.2.2 | Calcul des déplacements (clous de 140 mm perpendiculaire à la panne) | 303 |
| 4. | Assemblages par agrafes | 304 |
| 4.1 | Valeur caractéristique de la capacité résistante (chargement latéral et agrafes perpendiculaires au fil du bois) | 305 |
| 4.1.1 | Pénétration des agrafes dans le bois | 305 |
| 4.1.2 | Portance locale dans le bois et ses dérivés $f_{h,k}$ | 306 |
| 4.1.3 | Moment d'écoulement plastique de la tige (moment maximal que peut supporter l'agrafe) | 307 |
| 4.1.4 | Valeur caractéristique de la capacité résistante des tiges en fonction du mode de rupture | 307 |
| 4.1.5 | Nombre efficace d'agrafes | 308 |
| 4.2 | Agrafes en bois de bout (agrafes enfoncées parallèlement au fil du bois mais avec un chargement latéral) | 309 |
| 4.3 | Condition de pince (distances et espacement) | 309 |
| 4.4 | Valeur caractéristique de la capacité à l'arrachement (chargement axial et agrafes perpendiculaires au fil du bois) | 311 |
| 4.5 | Chargement combiné | 312 |
| 4.6 | Application résolue | 312 |

6 Assemblages par boulons et broches313

| | | |
|-------|---|-----|
| 1. | Assemblages par boulons | 313 |
| 1.1 | Valeur caractéristique de la capacité résistante lorsque le chargement est latéral et les boulons perpendiculaires au fil du bois | 314 |
| 1.1.1 | Portance locale dans le bois et ses dérivés $f_{h,k}$ | 314 |
| 1.1.2 | Moment d'écoulement plastique de la tige | 315 |
| 1.1.3 | Valeur caractéristique de la capacité résistante des tiges en fonction du mode de rupture | 315 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 1.1.4 | Nombre efficace de boulons | 315 |
| 1.2 | Distances et espacements | 316 |
| 1.3 | Valeur caractéristique de la capacité à l'arrachement lorsque le chargement est axial | 318 |
| 1.4 | Mode de calcul des boulons selon l'eurocode 3 | 319 |
| 1.4.1 | Disposition des boulons (vocabulaire) | 319 |
| 1.4.2 | Cisaillement | 320 |
| 1.4.3 | Traction | 321 |
| 1.4.4 | Chargement combiné : cisaillement + traction | 322 |
| 2. | Assemblages par broches | 322 |
| 2.1 | Valeur caractéristique de la capacité résistante des broches | 324 |
| 2.1.1 | Résistance au cisaillement de la broche | 324 |
| 2.1.2 | Résistance en pression diamétrale | 325 |
| 2.2 | Distances et espacements | 325 |
| 3. | Application résolue boulons broches : la recherche du nombre efficace | 327 |
| 3.1 | Première étape : calcul pour une file | 327 |
| 3.2 | Deuxième étape : calcul pour l'assemblage | 328 |
| 4. | Applications résolues : vérification d'un assemblage entrait-arbalétrier | 328 |
| 4.1 | Valeur caractéristique de la capacité résistante $F_{V,Rk}$ | 329 |
| 4.1.1 | Portance locale de la pièce 1 (entrait) : angle effort/fil du bois = 40° | 329 |
| 4.1.2 | Portance locale de la pièce 2 (arbalétrier) | 330 |
| 4.1.3 | Moment d'écoulement plastique | 330 |
| 4.1.4 | Calcul de $F_{ax,Rk}$: capacité caractéristique à l'arrachement | 330 |
| 4.1.5 | Calcul de l'effet de corde | 331 |
| 4.1.6 | Résistance pour chaque mode de rupture pour un plan de cisaillement | 331 |
| 4.2 | Définir le nombre de boulons | 331 |
| 4.2.1 | Résistance de calcul $F_{v,Rd}$ | 331 |
| 4.2.2 | Nombre de boulons de calcul | 332 |
| 4.2.3 | Premier choix : deux files de deux boulons | 332 |
| 4.2.4 | Deuxième choix : deux files de deux boulons plus un boulon central, soit cinq boulons | 333 |
| 4.3 | Distances et espacements | 333 |
| 4.3.1 | Nombre efficace de boulons de la pièce 1 (entrait), l'effort est incliné à 40° | 336 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 4.3.2 | Nombre efficace de boulons de la pièce 2 (arbalétrier), l'effort est parallèle au fil | 337 |
| 4.3.3 | Conclusion | 337 |
| 4.4 | Résistance caractéristique de l'ensemble des cinq boulons en double cisaillement | 337 |
| 4.5 | Variante : assemblage avec six boulons | 338 |
| 4.5.1 | Nombre efficace de boulons de la pièce 1 (entrait), l'effort est incliné à 40° | 338 |
| 4.5.2 | Nombre efficace de boulons de la pièce 2 (arbalétrier), l'effort est parallèle au fil | 338 |
| 4.5.3 | Conclusion | 339 |
| 4.6 | Calcul des déplacements pour cinq boulons | 339 |
| 4.6.1 | Calcul du module de glissement d'assemblage | 339 |
| 4.6.2 | Effort par boulon par plan de cisaillement (ELS) | 340 |
| 4.6.3 | Glissement instantané par boulon ou pour l'assemblage | 340 |
| 4.6.4 | Glissement final par boulon ou pour l'assemblage .. | 340 |
| 5. | Applications résolues : vérification d'un assemblage poteau moise-traverse bois lamellé-collé | 341 |
| 5.1 | Vérification à l'ELU | 341 |
| 5.1.1 | Valeur caractéristique de la capacité résistante $F_{V,Rk}$... | 342 |
| | Portance locale | 342 |
| | Moment d'écoulement plastique | 343 |
| 5.1.2 | Calcul de $F_{ax,Rk}$: capacité caractéristique à l'arrachement | 343 |
| 5.1.3 | Calcul de l'effet de corde | 343 |
| 5.1.4 | Distances et espacements | 346 |
| 5.1.5 | Pièce 1 : poteau moisé | 346 |
| 5.1.6 | Pièce 2 : traverse | 348 |
| 5.1.7 | Conclusion | 349 |
| 5.1.8 | Troisième choix : quatre boulons sur deux files | 350 |
| 5.1.9 | Pièce 1 : poteau moisé | 351 |
| | Première étape : calcul pour une file | 352 |
| | Deuxième étape : calcul pour l'assemblage | 352 |
| 5.1.10 | Pièce 2 : traverse | 352 |
| | Conclusion | 354 |
| 5.2 | Calcul des déplacements pour cinq boulons | 355 |
| 5.2.1 | Calcul du module de glissement d'assemblage | 355 |
| 5.2.2 | Effort par boulon par plan de cisaillement (ELS) | 355 |

| | | |
|-------|---|------------|
| 5.2.3 | Glissement instantané par boulon ou pour l'assemblage | 355 |
| 5.2.4 | Glissement final par boulon ou pour l'assemblage .. | 355 |
| 6. | Applications résolues : vérification d'un assemblage tirant-ferrure métallique | 356 |
| 6.1 | Vérification à l'ELU | 356 |
| 6.1.1 | Valeur caractéristique de la capacité résistante $F_{V,Rk}$... Portance locale | 356 356 |
| 6.1.2 | Calcul de $F_{ax,Rk}$: capacité caractéristique à l'arrachement | 357 |
| 6.1.3 | Calcul de l'effet de corde | 357 |
| 6.1.4 | Cisaillement | 358 |
| 6.1.5 | Résistance en pression diamétrale | 359 |
| 6.1.6 | Nombre de boulons de calcul | 360 |
| 6.1.7 | Premier choix : trois files de trois boulons | 360 |
| 6.1.8 | Deuxième choix : trois files de quatre boulons | 363 |
| 6.2 | Calcul des déplacements pour neuf boulons | 365 |
| 6.2.1 | Calcul du module de glissement d'assemblage | 365 |
| 6.2.2 | Effort par boulon par plan de cisaillement (ELS) ... | 366 |
| 6.2.3 | Glissement instantané par boulon ou pour l'assemblage | 366 |
| 6.2.4 | Glissement final par boulon ou pour l'assemblage .. | 366 |
| 7. | Applications résolues : vérification d'un assemblage poutre BLC-ferrure métallique | 367 |
| 7.1 | Vérification à l'ELU | 367 |
| 7.1.1 | Valeur caractéristique de la capacité résistante $F_{V,Rk}$... Portance locale | 368 368 |
| 7.1.2 | Calcul de $F_{ax,Rk}$: capacité caractéristique à l'arrachement | 368 |
| 7.1.3 | Calcul de l'effet de corde | 368 |
| 7.1.4 | Calcul des différentes valeurs de résistance en double cisaillement | 369 |
| 7.1.5 | Conditions des pinces dans la poutre | 370 |
| 7.1.6 | Conditions des pinces dans la flasque métallique | 371 |
| 7.1.7 | Cisaillement selon l'EC3 | 372 |
| 7.1.8 | Résistance en pression diamétrale | 372 |
| 7.2 | Calcul des déplacements pour cinq broches | 373 |
| 7.2.1 | Calcul du module de glissement d'assemblage | 373 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 7.2.2 | Effort par broche par plan de cisaillement (ELS) | 373 |
| 7.2.3 | Glissement instantané par broche ou pour l'assemblage | 374 |
| 7.2.4 | Glissement final par broche ou pour l'assemblage ... | 374 |

7 Assemblages par tire-fonds, anneaux et crampons375

| | | |
|-------|--|-----|
| 1. | Assemblages par tire-fonds | 375 |
| 1.1 | Justification lorsque le chargement est latéral | 375 |
| 1.2 | Valeur caractéristique de la capacité à l'arrachement lorsque le chargement est axial | 376 |
| 1.2.1 | Condition de pince pour un chargement axial | 378 |
| 1.2.2 | Condition de pince pour un chargement combiné | 379 |
| 2. | Applications résolues : vérification d'une ferrure de contreventement | 379 |
| 2.1 | Vérification des conditions de pénétration du côté de la pointe de la partie filetée | 381 |
| 2.2 | Valeur caractéristique de la capacité résistante $F_{V,Rk}$ | 381 |
| 2.2.1 | Valeur de la pénétration de la tige | 381 |
| 2.2.2 | Portance locale | 381 |
| 2.2.3 | Moment d'écoulement plastique | 381 |
| 2.2.4 | Effet de corde | 381 |
| 2.2.5 | Résistance pour chaque mode de rupture | 382 |
| 2.3 | Résistance de calcul $F_{V,Rd}$ (effort latéral) | 383 |
| 2.4 | Résistance de calcul $F_{ax,Rd}$ (effort axial) | 383 |
| 2.5 | Conditions de pince | 384 |
| 2.5.1 | Choix d'une disposition en deux files de deux colonnes | 386 |
| 3. | Assemblages par anneaux | 387 |
| 3.1 | Justification d'un anneau | 390 |
| 3.2 | Valeur caractéristique de la capacité résistante d'un anneau . | 390 |
| 3.2.1 | Capacité résistante $F_{v,\alpha,Rk}$ pour un effort incliné par rapport au fil | 390 |
| 3.2.2 | Capacité résistante $F_{v,0,Rk}$ pour un effort parallèle au fil | 391 |
| 3.2.3 | Nombre efficace d'anneaux | 393 |
| 3.3 | Conditions d'espacement et de distance | 394 |
| 3.3.1 | Anneaux en quinconce | 395 |
| 3.3.2 | Réduction supplémentaire sur $k_{a1} \cdot a_1$ | 396 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 4. | Assemblages par crampons | 396 |
| 4.1 | Justification | 398 |
| 4.2 | Valeur caractéristique de la capacité résistante d'un crampon double face ou d'un crampon simple face | 398 |
| 4.2.1 | Capacité résistante $F_{v,\alpha,Rk}$ | 398 |
| 4.2.2 | Exigences sur le diamètre des boulons | 400 |
| 4.2.3 | Nombre efficace de crampons | 401 |
| 4.3 | Conditions d'espacement et de distance | 401 |
| 8 | Composant et assembleur | 403 |
| 1. | Murs à ossature bois de type plate-forme | 403 |
| 1.1 | Justification des murs vis-à-vis des charges verticales | 403 |
| 1.2 | Justification des murs vis-à-vis des actions horizontales | 403 |
| 1.2.1 | Panneaux participant à la reprise des actions horizontales | 404 |
| 1.2.2 | Calcul de la résistance totale du mur | 405 |
| 1.2.3 | Effort de compression et de traction (soulèvement) de chaque panneau | 406 |
| 1.2.4 | Conditions de pince (distance et espacement entre les organes d'assemblage) | 407 |
| 1.3 | Application résolue | 407 |
| 1.3.1. | Valeur de résistance au simple cisaillement | 407 |
| 1.3.2 | Définir la résistance du mur | 410 |
| 1.3.3 | Actions à reprendre par l'ancrage des murs | 410 |
| 2. | Encastrement : la couronne de boulons | 411 |
| 2.1 | Comportement d'une couronne circulaire | 412 |
| 2.1.1 | Composante horizontale | 412 |
| 2.1.2 | Composante verticale | 413 |
| 2.1.3 | Moment | 413 |
| 2.1.4 | Effort résultant | 414 |
| 2.1.5 | Justification | 414 |
| 2.2 | Comportement d'une double couronne | 417 |
| 3. | Application résolue : assemblage d'un rein de portique par couronne de boulons | 417 |
| 3.1 | Rayon de la couronne, nombre et effort sur les boulons | 418 |
| 3.1.1 | Validation du rayon de la couronne | 418 |
| 3.1.2 | Nombre de boulons sur la couronne | 419 |
| 3.1.3 | Recherche des efforts sur les boulons | 419 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 3.2 | Vérification des boulons dans le poteau | 420 |
| 3.2.1 | Boulon de la ligne médiane le plus sollicité dans le poteau | 420 |
| 3.2.2 | Valeur caractéristique de la capacité résistante $F_{V,Rk}$. | 421 |
| 3.2.3 | Résistance de calcul $F_{V,Rd}$ | 425 |
| 3.2.4 | Justification | 425 |
| 3.3 | Vérification des boulons dans la traverse | 426 |
| 3.3.1 | Effort maximal (théorique) sur la ligne médiane dans la traverse | 426 |
| 3.3.2 | Valeur caractéristique de la capacité résistante $F_{V,Rk}$. | 426 |
| 3.3.3 | Résistance de calcul $F_{V,Rd}$ | 429 |
| 3.3.4 | Justification | 429 |
| 3.4 | Vérification en cisaillement | 429 |
| 3.4.1 | Contrainte de cisaillement induite par la combinaison d'action des états limites ultimes en MPa | 430 |
| 3.4.2 | Résistance de cisaillement calculée en MPa | 431 |
| 3.4.3 | Justification | 431 |
| 4. | Application résolue : variante avec 12 anneaux Ø95 | 431 |
| 4.1 | Rayon de la couronne, nombre et effort sur les anneaux | 431 |
| 4.1.1 | Validation du rayon de la couronne | 431 |
| 4.1.2 | Nombre d'anneaux sur la couronne | 431 |
| 4.1.3 | Recherche des efforts sur les ensembles | 432 |
| 4.2 | Vérification du poteau | 433 |
| 4.2.1 | Ensemble le plus sollicité dans le poteau | 433 |
| 4.2.2 | Valeur caractéristique de la capacité résistante $F_{V,Rk}$. | 434 |
| 4.2.3 | Justification | 436 |
| 4.3 | Vérification de la traverse | 436 |
| 4.3.1 | Ensemble le plus sollicité dans la traverse | 436 |
| 4.3.2 | Valeur caractéristique de la capacité résistante $F_{V,Rk}$. | 437 |
| 4.3.3 | Justification | 438 |
| 4.4 | Vérification en cisaillement | 438 |
| 4.4.1 | Contrainte de cisaillement induite par la combinaison d'action des états limites ultimes en MPa | 439 |
| 4.4.2 | Résistance de cisaillement calculée en MPa | 439 |
| 5. | Méthode simplifiée | 439 |
| 5.1 | Effort maximal théorique | 440 |
| 5.2 | Résistance minimale lorsque l'effort est perpendiculaire à la ligne moyenne du poteau (pièce 1) | 440 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 5.3 | Résistance minimale virtuelle lorsque l'effort est perpendiculaire à la ligne moyenne de la traverse (pièce 2) | 442 |
| 5.4 | Reprise de l'application 1 : assemblage d'un rein de portique par couronne de boulons | 442 |
| 5.4.1 | Rayon de la couronne, nombre et effort sur les boulons | 444 |
| 5.4.2 | Valeur caractéristique de la capacité résistante $F_{V,Rk}$ | 444 |
| 6. | Poteaux moisés | 448 |
| 6.1 | Justification de la résistance axiale du poteau | 451 |
| 6.2 | Justification des organes d'assemblages | 456 |
| 6.3 | Justification du cisaillement induit dans les goussets ou les fourrures | 457 |
| 6.4 | Application résolue | 457 |
| 6.4.1. | justification des membrures | 458 |
| 6.4.2 | Justification des organes d'assemblages | 464 |
| 6.4.3 | Définir le nombre de pointes | 466 |
| 7. | Éléments d'anti-flambement et d'anti-dévers | 469 |
| 7.1 | Cas des éléments comprimés : éléments d'anti-flambement | 469 |
| 7.2 | Cas des éléments fléchis : éléments anti-dévers | 470 |
| 7.3 | Application résolue : effort dans des liens d'anti-flambage de poteaux | 472 |
| 7.4 | Application résolue : effort dans un lien d'anti-dévers d'une poutre travaillant en flexion inversée | 473 |
| 7.4.1 | Vérifier la contrainte de flexion aux états limites ultimes (ELU) de la poutre non contreventée | 473 |
| 7.4.2 | Calcul de l'effort normal dans la membrure comprimée à équilibrer | 476 |
| 9 | Justification des structures au feu | 477 |
| 1. | Justification des sections | 477 |
| 1.1 | Composantes de la combinaison accidentelle | 478 |
| 1.2 | Calcul de la section efficace non protégée | 479 |
| 1.3 | Application résolue | 481 |
| 1.3.1 | Calcul de section résiduelle | 481 |
| 1.3.2 | Panne d'aplomb sur trois appuis | 482 |
| 2. | Vérifications des assemblages | 484 |
| 2.1 | Assemblages non protégés avec des éléments latéraux en bois | 485 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 2.2 | Assemblages non protégés avec une plaque métallique intérieure | 487 |
| 2.2.1 | Plaque métallique avec rives exposées au feu | 487 |
| 2.2.2 | Plaques métalliques plus étroites que l'élément en bois | 487 |
| 2.3 | Assemblages protégés | 487 |

10 Tableaux de synthèse491

| | | |
|-----|---|-----|
| 1. | Les actions appliquées aux structures | 491 |
| 1.1 | Charges d'exploitations | 491 |
| 1.2 | Charges de neige | 492 |
| 2. | Combinaisons d'actions appliquées aux structures | 494 |
| 2.1 | Composantes des combinaisons | 495 |
| 3. | Classes de résistance du bois massif et du bois lamellé-collé | 496 |
| 4. | Recherche des valeurs des résistances du bois | 498 |
| 4.1 | Coefficient γ_M | 499 |
| 5. | Valeurs limites de flèches | 499 |
| 6. | Traction, flexion, coefficient k_h | 501 |
| 7. | Flambage, coefficient $k_{c,y}$ ou $k_{c,z}$ | 502 |
| 8. | Compression oblique | 503 |
| 9. | Déversement, coefficient k_{crit} | 503 |
| 10. | Entaillage dans du bois massif, coefficient k_v | 504 |
| 11. | Entaillage dans du bois lamellé-collé, coefficient k_v | 505 |
| 12. | Assemblage par boulons, résistance caractéristique | 506 |
| 13. | Assemblage par boulons, nombre efficace de boulons dans une file | 507 |
| 14. | Assemblage par boulons, nombre efficace de boulons en fonction de l'angle entre l'effort et le fil du bois | 508 |
| 15. | Assemblage par pointes, K_{ser} | 510 |
| 16. | Assemblage par boulons, broches ou tire-fond, K_{ser} | 510 |

Les tiges sont des pièces métalliques élancées telles que les pointes, agrafes, boulons, broches ou tire-fond, etc. Les quatre premières parties de ce chapitre précisent les éléments spécifiques à chaque type de tige : les pointes, les agrafes, les boulons et broches et les tire-fond. De nombreuses vérifications sont partiellement indépendantes (résistance) ou interdépendantes (rupture de bloc, cisaillement, risque de fendage) du type de tige. Elles sont décrites dans la dernière partie.

Chaque type de tige a des caractéristiques spécifiques telles que les conditions de pénétration, la portance locale, les conditions de pince, etc. L'ensemble de ces éléments est décrit pour chaque type de tige.

La résistance des tiges dépend du mode de rupture, écrasement du bois (portance locale trop faible), déformation irréversible de la tige ou les deux phénomènes simultanément. Le calcul de leur résistance est décrit dans le paragraphe « Valeur caractéristique de la capacité résistante des tiges en fonction du mode de rupture ».

D'autre part, les tiges mobilisent la résistance d'un volume de matière. La capacité résistante d'une tige est liée au volume disponible. Pour cela, des pinces (distance aux extrémités, aux côtés ou rives et entre tiges) ou distances minimales doivent être respectées. Lors d'un assemblage très dense, l'ensemble des tiges est susceptible d'arracher la totalité de la zone d'assemblage : c'est la rupture de bloc.

Enfin, les assemblages inclinés engendrent un effort perpendiculaire au fil du bois. Il est nécessaire de vérifier que la valeur de calcul des efforts tranchants au voisinage de l'assemblage reste inférieure ou égale à la résistance au cisaillement et à la résistance au fendage.

Par ailleurs, lorsque les efforts à transmettre sont importants, les tiges, généralement broches ou boulons, peuvent être renforcées par des crampons ou des anneaux.

La conception de ce type d'assemblage (par tiges) nécessite de considérer le comportement de l'assemblage selon plusieurs directions. Il faut distinguer le chargement axial (selon l'axe de la tige, équivalent à une action de traction) du chargement latéral (perpendiculaire à l'axe de la tige, équivalent à une action de cisaillement). De plus, pour un chargement latéral, il faut distinguer le chargement parallèle aux fibres du bois et le chargement perpendiculaire aux fibres du bois. D'autre part, la capacité résistante d'un assemblage doit être réduite lorsque plusieurs tiges sont situées dans le sens du fil du bois par le calcul du nombre efficace d'organes.

1. Principe général de conception aux ELU

1.1 Caractériser l'assemblage

Déterminer les dimensions de l'assemblage :

- section ;
- pièce moisée ; position relative des pièces ;
- inclinaison entre les pièces.

Déterminer le type de chargement par rapport à la tige :

- chargement latéral dans le sens du fil du bois ;
- chargement latéral perpendiculaire au fil du bois ;
- chargement axiale.

Déterminer les matériaux :

- bois-bois ;
- bois-panneau ;
- bois-métal.

Déterminer le mode de travail :

- simple cisaillement (avec ou sans recouvrement) ;
- double cisaillement ;
- cisaillement multiple (plus de deux plans cisailés par tige).

Déterminer l'orientation de la tige par rapport au fil du bois :

- tige perpendiculaire au fil du bois ;
- tige parallèle au fil du bois avec un chargement latéral ;
- tige parallèle au fil du bois avec un chargement axial.

Sélectionner une longueur et un diamètre de tige.

Vérifier les conditions de pénétration.

1.2 Calculer la valeur caractéristique de la capacité résistante $F_{V,Rk}$

Valeur de la pénétration de la tige.

Portance locale (avec ou sans préperçage).

Moment d'écoulement plastique.

Calcul de la résistante pour chaque mode de rupture.

Sélectionner la valeur la plus faible.

1.3 Définir le nombre de tiges

Déterminer la résistance de calcul $F_{V,Rd}$.

Diviser l'effort supporté par la résistance d'une tige ($F_{V,Ed}/F_{V,Rd}$).

Sélectionner un nombre de tiges avec un arrondi supérieur (attention, si l'effet de file n_{cf} est défavorable, prendre un nombre de tige supérieur).

Justification des structures au feu

La justification au feu des structures en bois est décrite dans l'eurocode 5 : « Conception et calcul des structures en bois », partie 1 : « Généralités », section 2 : « Calcul des structures au feu (EN 1995-1-2) ». Ce chapitre présente quelques exemples simples. Il est nécessaire de se reporter à l'eurocode pour la justification de structures plus complexes.

Le bois présente de nombreux avantages en cas d'incendie : il ne se déforme pas, il ne dégage pas de gaz toxiques, il brûle lentement laissant le temps nécessaire à l'évacuation des personnes car son comportement au feu est totalement prévisible. Une charpente en bois ne se déforme pas ou peu et continue d'assurer ses fonctions porteuses pendant toute la durée de stabilité (15, 30, 60 ou 90 min). La couche carbonisée, dont la conductivité thermique est encore très faible, protège les couches internes et ralentit l'avance du feu.

La justification des structures exposées au feu est réalisée aux états limites ultimes en situation accidentelle. Les contraintes des barres sont vérifiées, et des dispositions constructives sont exigées pour les assemblages.

Le degré de résistance est défini par un classement européen « R » suivi d'un degré de performance exprimé en minutes. Il correspond à l'ancien classement français « Stabilité au feu – SF » si la durée en minutes reconvertie en fraction d'heure est supérieure ou égale à l'exigence demandée. Par exemple, un élément classé R 30 dans le système européen peut être mis en œuvre lorsqu'une résistance au feu d'une demi-heure est demandée.

R 30 \Rightarrow SF 1/2 heure

1. Justification des sections

Pour justifier une structure vis-à-vis du feu, il est nécessaire de déterminer la combinaison des actions, la vitesse de carbonisation, la section efficace, la contrainte induite et la contrainte de résistance.

1.1 Composantes de la combinaison accidentelle

La combinaison d'actions en situation accidentelle lorsqu'il y a le feu définit l'effet des actions $E_{fi,d}$. Il sera déterminé par la combinaison

$$G + \psi_{1,1}Q_1 + \sum_{i>1} \psi_{2,i}Q_i .$$

L'équation devient $G + \psi_1Q$ lorsqu'il n'y a qu'une action variable ou pour un balcon ou une toiture-terrace accessible lorsque l'altitude du bâtiment est inférieure à 1 000 m, car Ψ_2 est nul pour le vent et pour la neige. Le tableau 1 précise les valeurs de Ψ_1 et Ψ_2 .

Tableau 1 : valeurs des facteurs Ψ_1 et Ψ_2

| Action variable | Ψ_1 Combinaison accidentelle (incendie) | Ψ_2 Fluage et Combinaison accidentelle |
|---|---|--|
| Charges d'exploitation des bâtiments | | |
| Catégorie A : habitations résidentielles | 0,5 | 0,3 |
| Catégorie B : bureaux | 0,5 | 0,3 |
| Catégorie C : lieux de réunion | 0,7 | 0,6 |
| Catégorie D : commerce | 0,7 | 0,6 |
| Catégorie E : stockage | 0,9 | 0,8 |
| Catégorie H : toits | 0 | 0 |
| Charges de neige | | |
| Altitude > 1 000 m | 0,5 | 0,2 |
| Altitude ≤ 1 000 m | 0,2 | 0 |
| Action du vent | | |
| | 0,2 | 0 |

► **Exemple : poutre support de plancher dans un local d'habitation**

$$G = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

$$Q = 1,5 \text{ kN/m}^2 \text{ (exploitation, catégorie A)}$$

$$\text{Combinaison ELU structure} = 1,35 G + 1,5 Q$$

$$\text{Combinaison ELU structure en situation accidentelle (feu)} = G + 0,5 Q$$

► **Exemple : toiture d'un bâtiment situé en plaine**

$$G = 0,4 \text{ kN/m}^2$$

$$S = 0,36 \text{ kN/m}^2 \text{ (altitude < 200 m)}$$

$$\text{Combinaison normale} = 1,35 G + 1,5 S$$

$$\text{Combinaison feu} = G + 0,2 S$$

► **Exemple : toiture d'un bâtiment situé en moyenne montagne**

$$G = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

$$S = 1 \text{ kN/m}^2 \text{ (altitude } > 1\,000 \text{ m)}$$

$$\text{Combinaison normale} = 1,35 G + 1,5 S$$

$$\text{Combinaison feu} = G + 0,5 S$$

1.2 Calcul de la section efficace non protégée

La section réduite est la section non carbonisée qui reste après 15, 30, et plus rarement 60 ou 90 minutes d'exposition aux flammes. Il faut donc retrancher à la section initiale l'épaisseur de carbonisation. Le calcul doit tenir compte des arrondis des coins. Une simplification consiste à remplacer la vitesse de combustion unidimensionnelle β_0 par une vitesse de combustion fictive β_n qui inclut l'effet des coins et des fentes.

La section efficace est obtenue en enlevant à la section réduite une épaisseur supplémentaire ($k_0 \cdot d_0$) voisine de la limite de carbonisation dont les propriétés de rigidité et de résistance sont supposées nulles.

Lorsque deux faces et deux chants sont exposés à la flamme, la section efficace est définie par la formule :

$$A_{fi} = (h_{init} - 2 \cdot d_{ef}) \cdot (b_{init} - 2 \cdot d_{ef})$$

h_{init} : hauteur initiale en mm

b_{init} : largeur initiale en mm

d_{ef} : épaisseur de carbonisation efficace : $d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0$

avec :

$d_{char,n}$: profondeur de carbonisation fictive

$k_0 \cdot d_0$: couche voisine de la ligne de carbonisation dont on suppose une rigidité et une résistance nulle

Lorsque la surface n'est pas protégée, $d_{char,n} = \beta_n \cdot t$

β_n : vitesse de combustion qui inclut l'effet des arrondis en coin et des fentes en mm/min. Sa valeur est précisée dans le tableau 2.

t : la durée d'exposition à la flamme en mm

d_0 : épaisseur de carbonisation additionnelle, soit 7 mm

k_0 : coefficient pour définir l'épaisseur de carbonisation. Il dépend de la durée de tenue au feu exigée et de la tenue au feu d'un éventuel parement de protection. Sa valeur est précisée dans le tableau 3.

Tableau 2 : vitesse de carbonisation conventionnelle

| Matériau | ρ_k | β_n ou β_0 pour les panneaux (mm/min) |
|---|-----------------------|---|
| Bois résineux et hêtre massif a 35 mm | 290 kg/m ³ | 0,8 |
| Bois résineux lamellé-collé | 290 kg/m ³ | 0,7 |
| Bois feuillu massif ou lamellé-collé | 290 kg/m ³ | 0,7 |
| Bois feuillu massif ou lamellé-collé | 450 kg/m ³ | 0,55 |
| LVL | 480 kg/m ³ | 0,7 |
| Contreplaqué (h_p : épaisseur de 20 mm) | 450 kg/m ³ | 1,0 |
| Panneaux à base de bois (h_p : épaisseur de 20 mm) | 450 kg/m ³ | 0,9 |

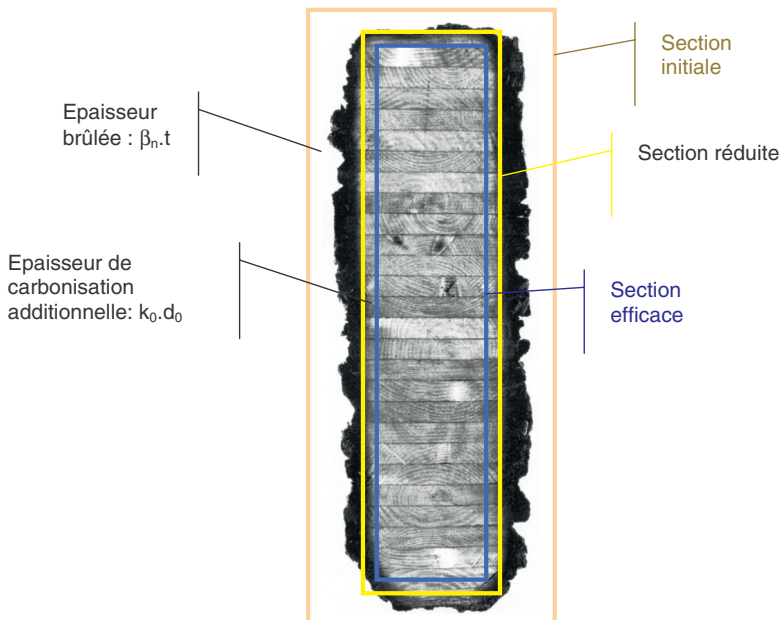
Lorsque l'épaisseur h_p et/ou la masse volumique des panneaux dérivés du bois est différente, la vitesse de combustion est donnée par :

$$\beta_{0,p,t} = \beta_0 \cdot \sqrt{\frac{450}{\rho_k}} \cdot \sqrt{\frac{20}{h_p}}$$

Tableau 3 : détermination de k_0

| | | |
|--|-----------------------|---------------------------|
| Faces non protégées et faces protégées avec $t_{ch} < 20$ min | $t_{fi,req} < 20$ min | $K_0 = t_{fi,req}/20$ |
| | $t_{fi,req} > 20$ min | $K_0 = 1$ |
| Faces protégées avec $t_{ch} > 20$ min | $t_{fi,req} < t_{ch}$ | $K_0 = t_{fi,req}/t_{ch}$ |
| | $t_{fi,req} > t_{ch}$ | $K_0 = 1$ |

Schéma 1 : calcul de la section réduite



Valeur de calcul d'une résistance en situation d'incendie :

$$f_{d,fi} = k_{fi} \cdot f_k \frac{k_{mod,fi}}{\gamma_{M,fi}}$$

f_k : résistance caractéristique en MPa

$k_{mod,fi}$: coefficient modificatif en situation d'incendie. L'utilisation de la méthode de la section réduite permet de prendre $k_{mod,fi} = 1$

γ_M : coefficient partiel qui vaut 1 en situation accidentelle

k_{fi} : coefficient qui permet de transformer une valeur caractéristique du fractile à 5 % au fractile à 20 %, défini dans le tableau 4

Tableau 4 : coefficient pour transformer une valeur caractéristique du fractile à 5 % au fractile à 20 %

| Matériaux | k_{fi} |
|---|----------|
| Bois massif | 1,25 |
| Bois lamellé-collé | 1,15 |
| Panneaux à bas de bois | 1,15 |
| LVL | 1,1 |
| Assemblages sollicités en cisaillement avec éléments latéraux en bois ou en panneaux à base de bois | 1,15 |
| Assemblages sollicités en cisaillement avec éléments latéraux métalliques | 1,05 |
| Assemblages sollicités axialement | 1,05 |

1.3 Application résolue

1.3.1 Calcul de section résiduelle

Calcul de la section résiduelle après 60 minutes d'exposition au feu d'une poutre en bois lamellé-collé classée GL 24h de 200 × 600 mm. Un plancher protège la face supérieure de la poutre.

$$\beta_n = 0,7 \text{ mm/min} \quad (\rho_k = 380 > 290 \text{ kg/m}^3)$$

$$k_0 = 1 \text{ car la tenue au feu requise est } > \text{ à } 20 \text{ min}$$

$$\text{Épaisseur carbonisée totale : } d_{cf} = 60 \times 0,7 + 1 \times 7 = 49 \text{ mm}$$

$$\text{Hauteur résiduelle : } h_{fi} = 600 - 49 = 551 \text{ mm}$$

$$\text{Largeur résiduelle : } b_{fi} = 200 - (2 \times 49) = 102 \text{ mm}$$

$$\text{Section résiduelle : } S_{fi} = 551 \times 102 = 56\,202 \text{ mm}^2$$