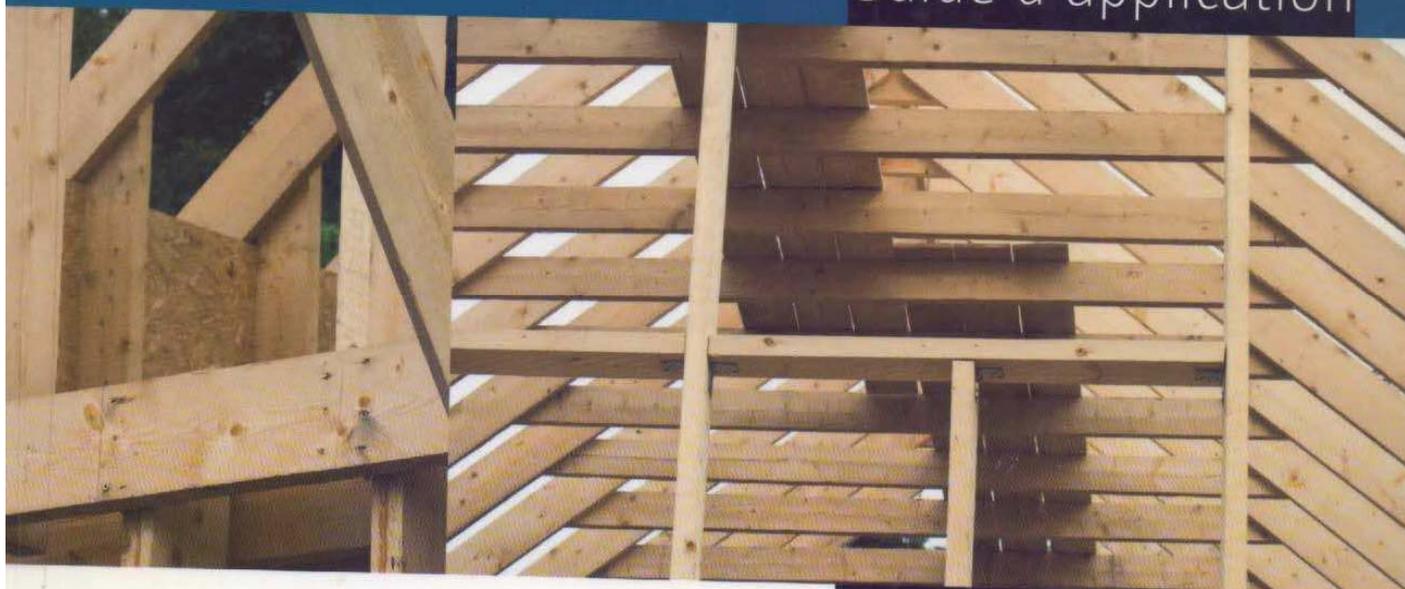


E U R O C O D E

Calcul des structures en bois

Guide d'application



Yves Benoit
Bernard Legrand
Vincent Tastet

AFNOR

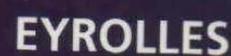
EYROLLES

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	8
2.4 Actions sismiques S	8
3. Conditions de vérifications : les états limites	9
3.1 État limite ultime (ELU)	9
3.2 État limite de service (ELS)	11
4. Combinaisons d'actions appliquées aux structures	12
4.1 État limite ultime	12
4.2 ELS	13
4.3 Composantes des combinaisons	13
4.3.1 Convention	13
4.3.2 Applications résolues	15
5. Classes de résistance du bois massif et du bois lamellé-collé	17
6. Recherche des valeurs des résistances du bois	21
6.1 Facteur k_{mod} (modificatif)	21
6.2 Coefficient γ_M	23
6.3 Calcul de la résistance	23
6.4 Applications résolues	24
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)	24

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) ..	24
6.4.3	Résistance en compression axiale d'un poteau en résineux classé C24 supportant une toiture de préau	24
6.4.4	Résistance en compression transversale d'une traverse d'un aménagement extérieur (combinaison 1,35 G, classe de service 3)	25
7.	Valeurs limites de flèches	25
7.1	Convention	26
7.2	Applications résolues	27
8.	Variations dimensionnelles	28
9.	Différence entre le principe de justification du critère de sécurité des Règles CB 71 et des ELU de l'EC 5	29
9.1	Principe de vérification du critère résistance des Règles CB 71	29
9.2	Principe de justification aux états limites ultimes des eurocodes 5	31
9.3	Différence entre l'eurocode 5 et les Règles CB 71	32
2	Vérifier les sections	33
1.	La compression et la traction parallèle, perpendiculaire et d'un angle quelconque par rapport au fil du bois	33
1.1	Traction axiale	33
1.1.1	Système	33
1.1.2	Justification	33
1.1.3	Applications résolues	35
1.2	Traction transversale, perpendiculaire aux fibres	37
1.3	Compression axiale avec risque de flambement	38
1.3.1	Système	38
1.3.2	Justification	39
1.3.3	Applications résolues	41
1.4	Compression axiale des poteaux moises	49
1.5	Compression avec flambement des structures assemblées ..	50
1.5.1	Les arcs à deux ou trois articulations	50
1.5.2	Les portiques avec jambes de force	50
1.5.3	Les portiques à deux ou trois articulations (inclinaison des poteaux < à 15°)	51

1.6	Compression transversale, perpendiculaire aux fibres	52
1.6.1	Système	53
1.6.2	Justification	53
1.6.3	Applications résolues	59
1.7	Compression oblique	63
1.7.1	Système	64
1.7.2	Justification	64
1.7.3	Application résolue	65
2.	La flexion simple des poutres droites	67
2.1	Vérification de la résistance (ELU)	68
2.1.1	Système	68
2.1.2	Justification	68
2.2	Vérification des déformations (ELS)	71
2.2.1	Justification	72
2.2.2	Combinaison des actions pour vérifier la flèche instantanée W_{inst}	73
2.2.3	Combinaison des actions pour déterminer la flèche différée W_{creep}	73
2.3	Applications résolues	74
2.3.1	Solive d'un plancher d'une chambre	74
2.3.2	Solives d'un plafond donnant sur un comble non habitable	80
2.3.3	Panne d'aplomb sur trois appuis	86
3.	Le cisaillement	91
3.1	Vérification des contraintes (ELU)	92
3.1.1	Système	92
3.1.2	Justification	92
3.2	Applications résolues	97
3.2.1	Solive d'un plancher d'une chambre	97
3.2.2	Panne d'aplomb sur trois appuis	101
4.	Les sollicitations composées	105
4.1	Flexion composée, flexion et traction	105
4.1.1	Vérification des contraintes (ELU)	106
4.1.2	Application résolue : chevron-arbalétrier bloqué sur la panne faîtière	107
4.2	Flexion composée, flexion et compression	111
4.2.1	Vérification des contraintes (ELU)	112
4.2.2	Vérification des déformations (ELS)	113
4.2.3	Application résolue : chevron-arbalétrier bloqué sur la panne sablière	113

4.3	Flexion déviée	118
4.3.1	Vérification des contraintes (ELU)	119
4.3.2	Vérification des déformations (ELS)	120
4.3.3	Application résolue : panne déversée	120
4.4	Flexion déviée et comprimée	124
4.4.1	Vérification des contraintes (ELU)	125
4.4.2	Vérification des déformations (ELS)	127
4.4.3	Application résolue : panne déversée reprenant une poussée provoquée par le vent	127
4.4.4	Vérification des déformations (ELS)	131
5.	La flexion des poutres à inertie variable et des poutres courbes ...	131
5.1	Poutres à simple décroissance	131
5.1.1	Vérification des contraintes (ELU)	131
5.1.2	Vérification des déformations (ELS)	134
5.1.3	Applications résolues : poutre à simple décroissance ..	136
5.1.4	Vérification des déformations (ELS)	139
5.2	Poutres à double décroissance, courbes et à inertie variable ..	140
5.2.1	Vérification des contraintes (ELU)	140
5.2.2	Vérification des déformations (ELS)	147
5.2.3	Applications résolues : poutre à double décroissance ..	147
5.2.4	Vérification des déformations (ELS)	153
5.2.5	Applications résolues : poutre à intrados courbe et à inertie variable	155
5.2.6	Vérification des déformations (ELS)	162
5.2.7	Applications résolues : poutre courbe à inertie constante	163
5.2.8	Vérification des déformations (ELS)	168
3	Vérifier les assemblages	171
1.	Assemblages par contact direct ou à entailles	171
1.1	Assemblage par emboîtement	172
1.1.1	Système	172
1.1.2	Justification	174
1.1.3	Application résolue : assemblage par emboîtement avant en pied de ferme	179
1.1.4	Justification	184
1.2	Assemblage par tenon-mortaise	185
1.2.1	Systématisation	185
1.2.2	Justification	186

1.2.3	Application résolue : assemblage d'un arbalétrier et d'une contrefiche par tenon-mortaise	189
2.	Assemblages par tiges	193
2.1	Principe général de conception aux ELU	194
2.1.1	Caractériser l'assemblage	194
2.1.2	Calculer la valeur caractéristique de la capacité résistante $F_{V,Rk}$	195
2.1.3	Définir le nombre de tiges	195
2.1.4	Conditions de pince	195
2.1.5	Vérifier la rupture de bloc, le cisaillement et le risque de fendage	196
2.2	Calcul des glissements d'assemblage aux ELS	197
2.2.1	Relation glissement d'assemblage-effort	197
2.2.2	Prise en compte du fluage	197
2.2.3	Jeu de perçage	197
2.2.4	Valeurs du module de glissement K_{ser}	197
2.2.5	Assemblage de deux pièces de bois (ou dérivé) de nature différente	198
3.	Assemblages par pointes	198
3.1	Valeur caractéristique de la capacité résistante (chargement latéral et pointes perpendiculaires au fil du bois)	200
3.1.1	Pénétration des pointes dans le bois	200
3.1.2	Portance locale dans le bois et ses dérivés $f_{h,k}$	202
3.1.3	Moment d'écoulement plastique de la tige (moment maximal que peut supporter la pointe)	204
3.1.4	Valeur caractéristique de la capacité résistante des tiges en fonction du mode de rupture	204
3.1.5	Nombre efficace de pointes	205
3.2	Pointes en bois de bout (pointes enfoncées parallèlement au fil du bois mais avec un chargement latéral)	206
3.3	Condition sur les espacements et distances	206
3.4	Valeur caractéristique de la capacité à l'arrachement (chargement axial et pointes perpendiculaires au fil du bois)	208
3.5	Chargement combiné (chargement latéral et axial)	210
4.	Applications résolues : exemples d'assemblage sur ferme	210
4.1	Simple cisaillement : clous de 70 mm	210
4.1.1	Vérification des conditions de pénétration : $8d$ pour les pointes lisses	211
4.1.2	Valeur caractéristique de la capacité résistante $F_{V,Rk}$	211

4.1.3	Définir le nombre de pointes	212
4.1.4	Conditions de pince	213
4.2	Calcul des déplacements (clous de 70 mm)	216
4.2.1	Calcul du module de glissement d'assemblage	216
4.2.2	Effort par pointe et par plan de cisaillement	216
4.2.3	Glissement instantané par pointe	216
4.2.4	Glissement instantané pour l'assemblage	216
4.2.5	Glissement final par pointe	217
4.2.6	Glissement final pour l'assemblage	217
4.3	Double cisaillement : clous de 100 mm	217
4.3.1	Vérification des conditions de pénétration : 6d pour les pointes torsadées	217
4.3.2	Valeur caractéristique de la capacité résistante $F_{V,Rk}$	218
4.3.3	Définir le nombre de pointes	219
4.3.4	Conditions de pince	219
4.4	Calcul des déplacements (clous de 100 mm)	221
4.4.1	Calcul du module de glissement d'assemblage	221
4.4.2	Effort par pointe et par plan de cisaillement	221
4.4.3	Glissement instantané par pointe	221
4.4.4	Glissement instantané pour l'assemblage	222
4.4.5	Glissement final par pointe	222
4.4.6	Glissement final pour l'assemblage	222
4.5	Simple cisaillement : clous de 70 mm avec effet de corde ..	222
4.5.1	Calcul de $F_{ax,Rk}$: capacité caractéristique à l'arrachement	223
4.5.2	Valeur caractéristique de la capacité résistante $F_{v,Rk}$	223
4.5.3	Définir le nombre de pointes	225
4.5.4	Conditions de pince	225
4.6	Calcul des déplacements (clous de 70 mm avec effet de corde)	227
4.6.1	Calcul du module de glissement d'assemblage	227
4.6.2	Effort par pointe et par plan de cisaillement (ELS) ..	227
4.6.3	Glissement instantané par pointe	228
4.6.4	Glissement instantané pour l'assemblage	228
4.6.5	Glissement final par pointe	228
4.6.6	Glissement final pour l'assemblage	228

4.7	Simple cisaillement : pointes lisses de 50 mm	229
4.7.1	Vérification des conditions de pénétration : 8d pour les pointes lisses	230
4.7.2	Calcul de $F_{ax,Rk}$: capacité caractéristique à l'arrachement	230
4.7.3	Valeur caractéristique de la capacité résistante $F_{V,Rk}$	230
4.7.4	Définir le nombre de pointes	232
4.7.5	Conditions de pince (distances et espacements)	233
5.	Justification d'un élément de contreventement avec un clouage perpendiculaire à l'élément de contreventement	237
5.1	Simple cisaillement : clous de 140 mm	237
5.1.1	Vérification des conditions de pénétration	238
5.1.2	Calcul de $F_{ax,Rk}$: capacité caractéristique à l'arrachement	238
5.1.3	Valeur caractéristique de la capacité résistante $F_{V,Rk}$	239
5.1.4	Définir le nombre de pointes	240
5.1.5	Conditions de pince	241
5.2	Calcul des déplacements (clous de 140 mm perpendiculaire à l'élément de contreventement)	243
5.2.1	Calcul du module de glissement d'assemblage	243
5.2.2	Effort par pointe par plan de cisaillement (ELS)	243
5.2.3	Glissement instantané par pointe ou pour l'assemblage	243
6.	Justification d'un élément de contreventement avec un clouage perpendiculaire à la panne	243
6.1	Simple cisaillement : clous de 140 mm	243
6.1.1	Définir le nombre de pointes	244
6.1.2	Conditions de pince	245
6.2	Calcul des déplacements (clous de 140 mm perpendiculaire à la panne)	246
6.2.1	Calcul du module de glissement d'assemblage	246
5.2.2	Effort par pointes par plan de cisaillement (ELS)	246
6.2.3	Glissement instantané par pointe ou pour l'assemblage	246
7.	Assemblages par agrafes	246
7.1	Valeur caractéristique de la capacité résistante (chargement latéral et agrafes perpendiculaires au fil du bois)	247
7.1.1	Pénétration des agrafes dans le bois	247

7.1.2	Portance locale dans le bois et ses dérivés $f_{h,k}$	248
7.1.3	Moment d'écoulement plastique de la tige (moment maximal que peut supporter l'agrafe)	249
7.1.4	Valeur caractéristique de la capacité résistante des tiges en fonction du mode de rupture	250
7.1.5	Nombre efficace d'agrafes	250
7.2	Agrafes en bois de bout (agrafes enfoncées parallèlement au fil du bois mais avec un chargement latéral)	251
7.3	Condition de pince (distances et espacement)	251
7.4	Valeur caractéristique de la capacité à l'arrachement (chargement axial et agrafes perpendiculaires au fil du bois) ...	253
7.5	Chargement combiné	254
7.6	Application résolue	254
8.	Assemblages par boulons	255
8.1	Valeur caractéristique de la capacité résistante lorsque le chargement est latéral et les boulons perpendiculaires au fil du bois	256
8.1.1	Portance locale dans le bois et ses dérivés $f_{h,k}$	256
8.1.2	Moment d'écoulement plastique de la tige	257
8.1.3	Valeur caractéristique de la capacité résistante des tiges en fonction du mode de rupture	257
8.1.4	Nombre efficace de boulons	257
8.2	Distances et espacements	258
8.3	Valeur caractéristique de la capacité à l'arrachement lorsque le chargement est axial	260
8.4	Mode de calcul des boulons selon l'eurocode 3	261
8.4.1	Disposition des boulons (vocabulaire)	261
8.4.2	Cisaillement	262
8.4.3	Traction	263
8.4.4	Chargement combiné : cisaillement + traction	264
9.	Assemblages par broches	264
9.1	Valeur caractéristique de la capacité résistante des broches	266
9.1.1	Résistance au cisaillement de la broche	266
9.1.2	Résistance en pression diamétrale	267
9.2	Distances et espacements	267
10.	Assemblages par anneaux	269
10.1	Justification d'un anneau	272
10.2	Valeur caractéristique de la capacité résistante d'un anneau	272
10.2.1	Capacité résistante $F_{v,a,Rk}$ pour un effort incliné par rapport au fil	272

10.2.2	Capacité résistante $F_{v,0,Rk}$ pour un effort parallèle au fil	273
10.2.3	Nombre efficace d'anneaux	275
10.3	Conditions d'espacement et de distance	276
10.3.1	Anneaux en quinconce	277
10.3.2	Réduction supplémentaire sur $k_{a1} \cdot a_1$	278
11.	Assemblages par crampons	278
11.1	Justification	280
11.2	Valeur caractéristique de la capacité résistante d'un crampon double face ou d'un crampon simple face	280
11.2.1	Capacité résistante $F_{v,a,Rk}$	280
11.2.2	Exigences sur le diamètre des boulons	282
11.2.3	Nombre efficace de crampons	283
11.3	Conditions d'espacement et de distance	283
12.	Application résolue boulons broches : la recherche du nombre efficace	284
12.1	Première étape : calcul pour une file	285
12.2	Deuxième étape : calcul pour l'assemblage	286
13.	Calcul d'assemblage : vérification d'un assemblage entrain-arbalétrier	286
13.1.	Valeur caractéristique de la capacité résistante $F_{V,Rk}$	287
13.1.1	Portance locale de la pièce 1 (entrait) : angle effort/fil du bois = 40°	287
13.1.2	Portance locale de la pièce 2 (arbalétrier)	288
13.1.3	Moment d'écoulement plastique	288
13.1.4	Calcul de $F_{ax,Rk}$: capacité caractéristique à l'arrachement	288
13.1.5	Calcul de l'effet de corde	289
13.1.6	Résistance pour chaque mode de rupture pour un plan de cisaillement	289
13.2	Définir le nombre de boulons	290
13.2.1	Résistance de calcul $F_{v,Rd}$	290
13.2.2	Nombre de boulons de calcul	290
13.2.3	Premier choix : deux files de deux boulons	290
13.2.4	Deuxième choix : deux files de deux boulons plus un boulon central, soit cinq boulons	291
13.3	Distances et espacements	292
13.3.1	Nombre efficace de boulons de la pièce 1 (entrait), l'effort est incliné à 40°	294

13.3.2	Nombre efficace de boulons de la pièce 2 (arbalétrier), l'effort est parallèle au fil	295
13.3.3	Conclusion	295
13.4	Résistance caractéristique de l'ensemble des cinq boulons en double cisaillement	296
13.5	Justification	296
13.6	Assemblage avec six boulons	296
13.6.1	Nombre efficace de boulons de la pièce 1 (entrait), l'effort est incliné à 40°	296
13.6.2	Nombre efficace de boulons de la pièce 2 (arbalétrier), l'effort est parallèle au fil	297
13.6.3	Conclusion	297
14.	Calcul des déplacements pour cinq boulons	297
14.1	Calcul du module de glissement d'assemblage	298
14.2	Effort par boulon par plan de cisaillement (ELS)	298
14.3	Glissement instantané par boulon ou pour l'assemblage	298
14.4	Glissement final par boulon ou pour l'assemblage	298
15.	Application 3	299
15.1	Vérification d'un assemblage poteau moise-traverse bois lamellé-collé	299
15.1.1	Valeur caractéristique de la capacité résistante $F_{V,Rk}$	300
	Portance locale	300
	Moment d'écoulement plastique	301
15.1.2	Calcul de $F_{ax,Rk}$: capacité caractéristique à l'arrachement	301
15.1.3	Calcul de l'effet de corde	302
15.1.4	Distances et espacements	305
15.1.5	Pièce 1 : poteau moisé	305
15.1.6	Pièce 2 : traverse	306
15.1.7	Conclusion	308
15.1.8	Troisième choix : quatre boulons sur deux files	309
15.1.9	Pièce 1 : poteau moisé	309
	Première étape : calcul pour une file	310
	Deuxième étape : calcul pour l'assemblage	311
15.1.10	Pièce 2 : traverse	311
	Conclusion	312
15.2	Calcul des déplacements pour cinq boulons	313
15.2.1	Calcul du module de glissement d'assemblage	313
15.2.2	Effort par boulon par plan de cisaillement (ELS)	314

15.2.3	Glissement instantané par boulon ou pour l'assemblage	314
15.2.4	Glissement final par boulon ou pour l'assemblage ..	314
16.	Application 4	315
16.1	Vérification d'un assemblage tirant-ferrure métallique	315
16.1.1	Valeur caractéristique de la capacité résistante $F_{V,Rk}$	315
	Portance locale	315
	Moment d'écoulement plastique	316
16.1.2	Calcul de $F_{ax,Rk}$: capacité caractéristique à l'arrachement	316
16.1.3	Calcul de l'effet de corde	316
16.1.4	Cisaillement	317
16.1.5	Résistance en pression diamétrale	318
16.1.6	Nombre de boulons de calcul	319
16.1.7	Premier choix : trois files de trois boulons	319
16.1.8	Deuxième choix : trois files de quatre boulons	322
16.2	Calcul des déplacements pour neuf boulons	325
16.2.1	Calcul du module de glissement d'assemblage	325
16.2.2	Effort par boulon par plan de cisaillement (ELS) ...	325
16.2.3	Glissement instantané par boulon ou pour l'assemblage	325
16.2.4	Glissement final par boulon ou pour l'assemblage ..	326
17.	Application 5	326
17.1	Vérification d'un assemblage poutre BLC-ferrure métallique	326
17.1.1	Valeur caractéristique de la capacité résistante $F_{V,Rk}$	327
	Portance locale	327
	Moment d'écoulement plastique	327
17.1.2	Calcul de $F_{ax,Rk}$: capacité caractéristique à l'arrachement	328
	Calcul de l'effet de corde	328
17.1.3	Calcul des différentes valeurs de résistance en double cisaillement	328
17.1.4	Poutre	329
17.1.5	Pièce 2 : flasque métallique	330
17.1.6	Cisaillement selon l'EC3	331
17.1.7	Résistance en pression diamétrale	332

17.2	Calcul des déplacements pour cinq broches	332
17.2.1	Calcul du module de glissement d'assemblage	332
17.2.2	Effort par broche par plan de cisaillement (ELS)	333
17.2.3	Glissement instantané par broche ou pour l'assemblage	333
17.2.4	Glissement final par broche ou pour l'assemblage ...	333
18.	Assemblages par tire-fond	334
18.1	Justification lorsque le chargement est latéral	334
18.2	Valeur caractéristique de la capacité à l'arrachement lorsque le chargement est axial	335
18.2.1	Condition de pince pour un chargement axial	336
18.2.2	Condition de pince pour un chargement combiné	337
19.	Applications résolues	338
19.1	Vérification des conditions de pénétration du côté de la pointe de la partie filetée	339
19.2	Valeur caractéristique de la capacité résistante $F_{V,Rk}$	340
19.2.1	Valeur de la pénétration de la tige	340
19.2.2	Portance locale	340
19.2.3	Moment d'écoulement plastique	340
19.2.4	Effet de corde	340
19.2.5	Résistance pour chaque mode de rupture	341
19.3	Résistance de calcul $F_{V,Rd}$ (effort latéral)	341
19.4	Résistance de calcul $F_{ax,Rd}$ (effort axial)	342
19.5	Justification	342
19.6	Conditions de pince	343
19.6.1	Choix d'une disposition en deux files de deux colonnes	344
20.	Vérifications indépendantes du type de tige	345
20.1	Valeur caractéristique de la capacité résistante des tiges en fonction du mode de rupture pour un chargement latéral	345
20.1.1	Assemblages bois-bois ou bois-panneaux	345
20.1.2	Assemblages bois-métal	353
20.2	Valeur de calcul de la capacité résistante des tiges en fonction du mode de rupture pour un chargement latéral	362
21.	Rupture de cisaillement de bloc	363
21.1	Résistance en traction	363
21.2	Résistance en cisaillement	364
21.3	$F_{sb,Rd}$: résistance en cisaillement de bloc MPa	365

22. Cisaillement	365
22.1 τ_d : contrainte de cisaillement induite par la combinaison d'action des états limites ultimes en MPa	366
22.2 $f_{v,d}$: résistance de cisaillement calculée en MPa	366
23. Fendage	366
23.1 $F_{90,Rd}$: résistance de calcul au fendage	367
24. Vérification d'un assemblage avec risque de rupture de bloc	368
24.1 Résistance en traction	368
24.1.1 Surface résistante	369
24.1.2 Résistance caractéristique en traction	369
24.2 Résistance en cisaillement	369
24.2.1 Surface résistante	369
24.2.2 Résistance caractéristique en cisaillement	370
24.3 $F_{sb,Rd}$: résistance en cisaillement de bloc MPa	370
25. Vérification du cisaillement et du fendage d'un assemblage poteau moise-traverse bois lamellé-collé	370
25.1 Cisaillement	372
25.1.1 $f_{v,d}$: résistance de cisaillement calculée en MPa	372
25.2 Fendage	373
25.2.1 $F_{90,Rd}$: résistance de calcul au fendage	373
26. Vérification du cisaillement et du fendage d'un assemblage poutre BLC-ferrure métallique	374
26.1 Cisaillement	374
26.1.1 $f_{v,d}$: résistance de cisaillement calculée en MPa	375
26.2 Fendage	375
26.2.1 $F_{90,Rd}$: résistance de calcul au fendage	375
4 Composant et assembleur	377
1. Murs à ossature bois de type plate-forme	377
1.1 Justification des murs vis-à-vis des charges verticales	377
1.2 Justification des murs vis-à-vis des actions horizontales	377
1.2.1 Panneaux participant à la reprise des actions horizontales	378
1.2.2 Calcul de la résistance totale du mur	378
1.2.3 Effort de compression et de traction (soulèvement) de chaque panneau	379
1.2.4 Conditions de pince (distance et espacement entre les organes d'assemblage)	380

2.	Application résolue	380
2.1.	Valeur de résistance au simple cisaillement	381
2.1.1	Vérification des conditions de pénétration	381
2.1.2	Valeur caractéristique de la capacité résistante $F_{V,Rk}$	381
2.1.3	Définir la résistance du mur	383
2.1.4	Actions à reprendre par l'ancrage des murs	384
3.	Encastrement : la couronne de boulons	385
3.1	Comportement d'une couronne circulaire	386
3.1.1	Composante horizontale	386
3.1.2	Composante verticale	386
3.1.3	Moment	387
3.1.4	Effort résultant	388
3.1.5	Justification	388
3.2	Comportement d'une double couronne	391
4.	Application 1 : assemblage d'un rein de portique par couronne de boulons	391
4.1	Rayon de la couronne, nombre et effort sur les boulons	392
4.1.1	Validation du rayon de la couronne	392
4.1.2	Nombre de boulons sur la couronne	393
4.1.3	Recherche des efforts sur les boulons	393
4.2	Vérification des boulons dans le poteau	394
4.2.1	Boulon de la ligne médiane le plus sollicité dans le poteau	394
4.2.2	Valeur caractéristique de la capacité résistante $F_{V,Rk}$	395
4.2.3	Résistance de calcul $F_{V,Rd}$	399
4.2.4	Justification	399
4.3	Vérification des boulons dans la traverse	400
4.3.1	Effort maximal (théorique) sur la ligne médiane dans la traverse	400
4.3.2	Valeur caractéristique de la capacité résistante $F_{V,Rk}$	400
4.3.3	Résistance de calcul $F_{V,Rd}$	403
4.3.4	Justification	403
4.4	Vérification en cisaillement	403
4.4.1	$\tau_{m,d}$: contrainte de cisaillement induite par la combinaison d'action des états limites ultimes en MPa	404
4.4.2	$f_{v,d}$: résistance de cisaillement calculée en MPa	405

4.4.3	Justification	405
5.	Application 2 : variante avec 12 anneaux Ø95	405
5.1	Rayon de la couronne, nombre et effort sur les anneaux	405
5.1.1	Validation du rayon de la couronne	405
5.1.2	Nombre d'anneaux sur la couronne	405
5.1.3	Recherche des efforts sur les ensembles	406
5.2	Vérification du poteau	407
5.2.1	Ensemble le plus sollicité dans le poteau	407
5.2.2	Valeur caractéristique de la capacité résistante $F_{V,Rk}$	408
5.2.3	Justification	410
5.3	Vérification de la traverse	410
5.3.1	Ensemble le plus sollicité dans la traverse	410
5.3.2	Valeur caractéristique de la capacité résistante $F_{V,Rk}$	411
5.3.3	Justification	412
5.4	Vérification en cisaillement	412
5.4.1	$\tau_{m,d}$: contrainte de cisaillement induite par la combinaison d'action des états limites ultimes en MPa	413
5.4.2	$f_{v,d}$: résistance de cisaillement calculée en MPa	413
5.5	Méthode simplifiée	413
5.5.1	Effort maximal théorique	414
5.5.2	Résistance minimale lorsque l'effort est perpendiculaire à la ligne moyenne du poteau (pièce 1)	414
5.5.3	Résistance minimale virtuelle lorsque l'effort est perpendiculaire à la ligne moyenne de la traverse (pièce 2)	416
5.5.4	Justification	416
6.	Reprise de l'application 1 : assemblage d'un rein de portique par couronne de boulons	416
6.1	Rayon de la couronne, nombre et effort sur les boulons	418
6.1.1	Effort maximal virtuel sur un boulon virtuel situé sur la ligne médiane du poteau ou de la traverse	418
6.2	Valeur caractéristique de la capacité résistante $F_{V,Rk}$	418
6.2.1	Effort perpendiculaire à la ligne moyenne du poteau	418
6.2.2	Effort perpendiculaire à la ligne moyenne de la traverse	420
6.2.3	Moment d'écoulement plastique	420

6.2.4	Calcul de l'effet de corde	420
6.2.5	Résistance pour chaque mode de rupture lorsque l'effort est perpendiculaire à la ligne moyenne du poteau	420
6.2.6	Résistance pour chaque mode de rupture lorsque l'effort est perpendiculaire à la ligne moyenne de la traverse	421
6.2.7	Sélection du boulon le moins résistant	422
6.2.8	Résistance de calcul $F_{V,Rd}$	422
6.2.9	Justification	422

5 Tableaux de synthèse423

1.	Les actions appliquées aux structures	423
1.1	Charges d'exploitations	423
1.1.1	Charges de neige	424
2.	Combinaisons d'actions appliquées aux structures	426
2.1	Composantes des combinaisons	426
3.	Classes de résistance du bois massif et du bois lamellé-collé	428
4.	Recherche des valeurs des résistances du bois	430
4.1	Coefficient γ_M	431
5.	Valeurs limites de flèches	431
6.	Traction, flexion, coefficient k_h	433
7.	Flambage, coefficient $k_{c,y}$ ou $k_{c,z}$	434
8.	Compression transversale, coefficient $k_{c,90}$	435
9.	Compression oblique	436
10.	Déversement, coefficient k_{crit}	436
11.	Entaillage dans du bois massif, coefficient k_v	437
12.	Entaillage dans du bois lamellé-collé, coefficient k_v	438
13.	Assemblage par boulons, résistance caractéristique	439
14.	Assemblage par boulons, nombre efficace de boulons dans une file	440
15.	Assemblage par boulons, nombre efficace de boulons en fonction de l'angle entre l'effort et le fil du bois	441
16.	Assemblage par pointes, K_{ser}	443
17.	Assemblage par boulons, broches ou tire-fond, K_{ser}	443