

— Traité de Génie Civil —
de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne

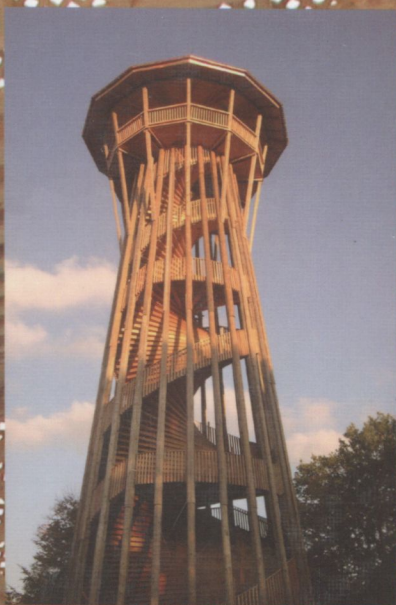
Volume 13

CONSTRUCTION EN BOIS

Matériau, technologie et dimensionnement

Julius Natterer · Jean Luc Sandoz · Martial Rey

avec la collaboration de Maurice Fiaux



PRESSES POLYTECHNIQUES ET UNIVERSITAIRES ROMANDES

— Traité de Génie Civil —
de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne
publié sous la direction de René Walther et Manfred A. Hirt

Volume 13

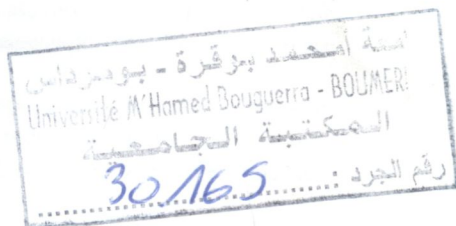
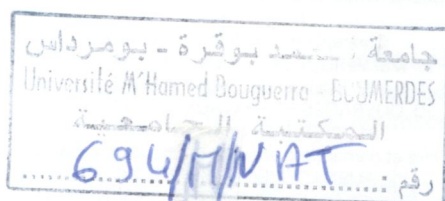
CONSTRUCTION EN BOIS

Matériau, technologie et dimensionnement

Deuxième édition revue et augmentée

Julius Natterer · Jean Luc Sandoz · Martial Rey

avec la collaboration de Maurice Fiaux



PRESSES POLYTECHNIQUES ET UNIVERSITAIRES ROMANDES

Table des matières

Avant-propos	V
Avant-propos à la seconde édition	VII
1 Bois et forêts	1
1.1 Aspects écologiques	3
1.1.1 Généralités	3
1.1.2 Cycle du carbone et fonction de l'écosystème forêt	3
1.2 Les forêts dans le monde	5
1.3 Economie forestière dans l'Europe du XX ^e siècle	8
1.4 Economie forestière suisse	9
1.4.1 Généralités	9
1.4.2 Caractéristiques des forêts suisses	10
1.4.3 Exploitation forestière	14
1.4.4 Répartition par secteur d'activité de la consommation du bois en Suisse	19
1.5 Conclusions	19
Références	20
2 Matériau bois	21
2.1 Introduction	23
2.2 Anatomie et biophysique	23
2.2.1 Synthèse	23
2.2.2 Le plan ligneux	25
2.2.3 Le bois et l'arbre	28
2.2.4 Composition chimique	30
2.2.5 Classification botanique	32
2.3 Propriétés physiques	36
2.3.1 Masse volumique et densité	36
2.3.2 Hygroscopie	41
2.3.3 Variations dimensionnelles et déformations	43
2.3.4 Propriétés thermiques	48
2.3.5 Propriétés acoustiques	50
2.4 Dégradation	52
2.4.1 Principes de dégradation	52
2.4.2 Agents de dégradation	54
2.5 Classes de service et durabilité	57

2.5.1	Principes	57
2.5.2	Durabilité naturelle.....	58
2.5.3	Protection constructive	60
2.5.4	Protection chimique.....	67
2.6	Conclusions.....	70
	Références.....	71
3	Fiabilité du matériau bois	73
3.1	Introduction.....	75
3.2	Anisotropie	76
3.2.1	Anisotropie à symétrie cylindrique	76
3.2.2	Comportement en dehors des axes orthotropes	79
3.3	Variabilité.....	80
3.3.1	Origine de la variabilité du bois	80
3.3.2	Variabilité biologique	81
3.3.3	Variabilité physique.....	81
3.3.4	Variabilité technologique.....	82
3.4	Triage et classement des bois.....	83
3.4.1	Présentation	83
3.4.2	Efficacité du triage visuel	83
3.5	Triage par contrôles non destructifs.....	87
3.5.1	Concept.....	87
3.5.2	Méthode mécanique (<i>stress grading</i>)	88
3.5.3	Méthode basée sur les ondes radioactives (X, β, γ).....	88
3.5.4	Méthode basée sur les ondes basses fréquences (ultrasons)	88
3.6	Classement et performances des matériaux bois	90
3.6.1	Principe de vérification aux états limites ultimes.....	90
3.6.2	Bois scié	91
3.6.3	Bois rond	93
3.6.4	Bois lamellé-collé.....	94
3.6.5	Bois lamellé-multicollé	98
3.7	Coefficients de modification de performances.....	99
3.7.1	Effet de l'hygroscopie	100
3.7.2	Effet de la durée de charge	102
3.7.3	Effets mécano-sorptifs.....	104
3.7.4	Effet de température	105
3.7.5	Autres coefficients physico-mécaniques	106
3.8	Conclusions.....	111
	Références.....	112

4	Dimensionnement des éléments de construction	115
4.1	Introduction	117
4.2	Fiabilité et concepts de dimensionnement	117
4.2.1	Définition de la fiabilité	117
4.2.2	Concepts de fiabilité multivariée.....	118
4.3	Actions agissant sur les structures.....	121
4.3.1	Introduction.....	121
4.3.2	Classification des actions	121
4.3.3	Valeurs caractéristiques des actions.....	122
4.3.4	Valeurs représentatives des actions	126
4.4	Vérifications aux états limites	127
4.4.1	Introduction.....	127
4.4.2	Sécurité structurale : vérification aux états limites ultimes	128
4.4.3	Aptitude au service : vérification aux états limites de service	132
4.5	Barres tendues	134
4.5.1	Introduction.....	134
4.5.2	Résistance en section	134
4.5.3	Dimensionnement selon la norme SIA 164	136
4.6	Barres comprimées	137
4.6.1	Introduction.....	137
4.6.2	Résistance en section	137
4.6.3	Instabilité des barres comprimées	139
4.6.4	Dimensionnement selon la norme SIA 164	146
4.7	Poutre fléchie.....	148
4.7.1	Introduction.....	148
4.7.2	Résistance en section	148
4.7.3	Instabilité des barres fléchies	149
4.7.4	Vérification des déformations.....	156
4.7.5	Flexion oblique	157
4.7.6	Dimensionnement selon la norme SIA 164	159
4.8	Flexion et effort normal combinés	162
4.8.1	Flexion et traction axiale combinées	162
4.8.2	Flexion et compression axiale combinées	162
4.8.3	Dimensionnement selon la norme SIA 164	164
4.9	Comportement au feu des éléments de construction en bois	168
4.9.1	Généralités	168
4.9.2	Résistance au feu	168
4.9.3	Règlements sur la protection contre l'incendie : exemple de la Suisse	170
4.9.4	Résistance au feu des éléments bois	172
4.10	Conclusions	174

4.11 Exercices.....	175
4.11.1 Vérification d'une colonne	175
4.11.2 Vérification d'une poutre treillis	179
4.11.3 Vérification d'une poutre en bois lamellé-collé	184
4.11.4 Système de contreventement d'une passerelle	188
Références.....	197
 5 Moyens d'assemblage	199
5.1 Introduction.....	201
5.1.1 Présentation et historique	201
5.1.2 Généralités.....	202
5.2 Moyens d'assemblage traditionnels.....	205
5.2.1 Introduction	205
5.2.2 Assemblages par contact	206
5.2.3 Assemblages par emboîtements	208
5.3 Moyens d'assemblage mécaniques.....	215
5.3.1 Généralités.....	215
5.3.2 Moyens d'assemblage à tiges cylindriques	221
5.3.3 Connecteurs de surface.....	249
5.3.4 «Systèmes» de connexion.....	260
5.4 Assemblages collés.....	266
5.4.1 Généralités.....	266
5.4.2 Types de colles	267
5.4.3 Théorie du collage.....	270
5.4.4 Vérification de la sécurité structurale d'assemblages collés	272
5.5 Comportement au feu des assemblages	276
5.5.1 Généralités.....	276
5.5.2 Principe de dimensionnement	277
5.6 Conclusions.....	278
5.7 Exercices.....	280
5.7.1 Assemblage par contact.....	280
5.7.2 Assemblage par emboîtement.....	283
5.7.3 Nœud de treillis cloué	286
5.7.4 Joint de montage d'une poutre triangulée	289
Références.....	295
 6 Systèmes porteurs : caractéristiques mécaniques et détails	297
6.1 Introduction.....	299

6.1.1	Systèmes étudiés	299
6.1.2	Conception des systèmes porteurs	300
6.1.3	Convention de signe	301
6.2	Poutres simples sur deux appuis en bois massif et bois collé	302
6.2.1	Applications	302
6.2.2	Poutres massives à inertie constante	303
6.2.3	Poutres massives à inertie variable	305
6.2.4	Poutres massives à inertie variable et intrados courbe	311
6.3	Systèmes triangulés	311
6.3.1	Applications	311
6.3.2	Conception et vérification	312
6.3.3	Détails d'assemblage	317
6.4	Poutres sous-tendues	318
6.4.1	Applications	318
6.4.2	Conception et vérification	319
6.4.3	Détails d'assemblage	324
6.5	Poutres sur plusieurs appuis	324
6.5.1	Applications	324
6.5.2	Vérifications	325
6.6	Fermes et arcs articulés	331
6.6.1	Applications	331
6.6.2	Fermes	331
6.6.3	Arcs	334
6.6.4	Particularité des éléments courbes en bois lamellé-collé	340
6.6.5	Détails des articulations	345
6.6.6	Système radial	347
6.7	Portiques	347
6.7.1	Applications	347
6.7.2	Portiques à trois articulations	348
6.7.3	Détails d'assemblage	351
6.7.4	Système radial	355
6.8	Grilles de poutres	356
6.8.1	Applications	356
6.8.2	Conception et vérification	356
6.8.3	Détails d'assemblage	361
6.9	Conclusions	362
6.10	Exercices	363
6.10.1	Poutre simple et poutre cantilever	363
6.10.2	Poutre à intrados courbe et inertie variable	370
	Références	378

7	Stabilisation	381
7.1	Introduction.....	383
7.2	Stabilisation des éléments comprimés et/ou fléchis.....	383
7.2.1	Stabilisations ponctuelles	384
7.2.2	Stabilisation répartie.....	385
7.3	Transmission des charges horizontales.....	386
7.3.1	Application à quelques systèmes porteurs usuels	387
7.4	Systèmes de contreventement.....	390
7.4.1	Contreventements triangulés	391
7.4.2	Diaphragmes horizontaux et parois rigides	393
7.4.3	Structures auto-stables.....	398
7.5	Comportement des structures en bois lors de séismes.....	399
7.5.1	Exemple historique.....	399
7.5.2	Spécificités propres aux séismes	401
7.5.3	Modélisation des charges sismiques.....	403
7.5.4	Comportement du matériau bois sous charges sismiques	406
7.5.5	Comportement des structures en bois sous charges sismiques.....	407
7.6	Conclusions.....	410
	Références.....	411
8	Exemples construits	413
8.1	Introduction.....	415
8.2	<i>La Halle de rencontres</i> de Martigues.....	415
8.2.1	Introduction	415
8.2.2	Système porteur.....	417
8.2.3	Détails.....	419
8.2.4	Conclusions	421
8.3	Atelier de production et bâtiment administratif.....	421
8.3.1	Introduction	421
8.3.2	Atelier de production.....	421
8.3.3	Bâtiment administratif.....	426
8.3.4	Conclusions	428
8.4	Salle polyvalente.....	429
8.4.1	Introduction	429
8.4.2	Système porteur.....	430
8.4.3	Détails.....	432
8.4.4	Conclusions	433
8.5	Halle industrielle démontable	434

8.5.1	Introduction.....	434
8.5.2	Détails de construction.....	437
8.5.3	Système porteur	437
8.5.4	Conclusions.....	440
Références		441
9	Structures composées	443
9.1	Introduction	445
9.1.1	Structures composées bois-bois	445
9.2	Modèle de calcul élastique linéaire d'une section composée à interaction incomplète	446
9.2.1	Hypothèses de base du modèle	447
9.2.2	Poutres assemblées mécaniquement	447
9.2.3	Poteaux assemblés mécaniquement	455
9.2.4	Conclusions	458
9.3	Généralisation à deux ou au maximum à trois éléments composés	458
9.3.1	Paramètres mécaniques d'une liaison semi-rigide	458
9.3.2	Calculs des contraintes normales avec au maximum trois éléments	463
9.3.3	Calculs des contraintes tangentielles avec au maximum trois éléments	464
9.3.4	Calculs de l'effort par connecteur dans la liaison	465
9.3.5	Limite d'emploi du facteur de glissement de la liaison	465
9.3.6	Conclusions	466
9.4	Dalle mixte bois-béton	466
9.4.1	Introduction	466
9.4.2	Développement théorique pour une dalle mixte	470
9.4.3	Cas particulier: dalle mixte avec rainures	482
9.4.4	Conclusions	487
9.5	Exercices	487
9.5.1	Dalle mixte bois-béton avec rainures	487
9.5.2	Poutre composée de deux éléments	500
Références		509
10	Annexes	511
10.1	Caractéristiques des bois selon SIA 164	513
10.2	Démarche de vérification des assemblages	516
10.3	Calcul statique des poutres continues et cantilever	528
Notations.....		531
Index		535
Biographie des auteurs.....		541