

— Traité de Génie Civil —

34 2es

de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne

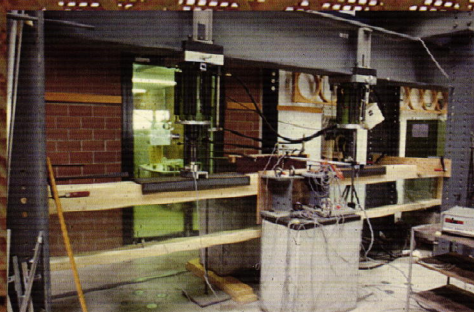
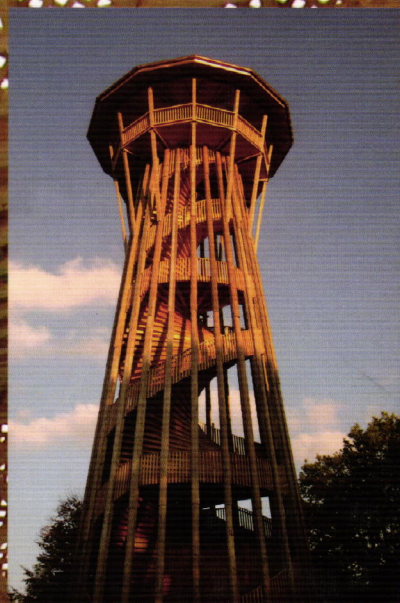
Volume 13

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

Cet ouvrage fait partie d'une série d'une vingtaine de volumes qui sont publiés sous la direction de René Walther et Manfred A. Hirt, professeurs à l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, dont la liste suivante, non exhaustive, présente le plan général de publication (voir l'état des parutions sur notre site web <http://www.ppur.org>).

1. ANALYSE DES STRUCTURES ET MILIEUX CONTINUS
Statique appliquée
2. ANALYSE DES STRUCTURES ET MILIEUX CONTINUS
Mécanique des structures
3. ANALYSE DES STRUCTURES ET MILIEUX CONTINUS
Mécanique des solides
4. ANALYSE DES STRUCTURES ET MILIEUX CONTINUS
Poutres et plaques
5. ANALYSE DES STRUCTURES ET MILIEUX CONTINUS
Coques
6. ANALYSE DES STRUCTURES ET MILIEUX CONTINUS
Méthode des éléments finis
7. DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES EN BÉTON
Bases et technologie
8. DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES EN BÉTON
Aptitude au service et éléments de structures
9. PONTS EN BÉTON
Généralités, conception et dimensionnement
10. CONSTRUCTION MÉTALLIQUE
Notions fondamentales et méthodes de dimensionnement
11. CHARPENTES MÉTALLIQUES
Conception et dimensionnement des halles et bâtiments
12. PONTS EN ACIER
Conception et dimensionnement des ponts métalliques et mixtes acier-béton
13. CONSTRUCTION EN BOIS
Matériau, technologie et dimensionnement
14. HYDRODYNAMIQUE
Une introduction
15. CONSTRUCTIONS HYDRAULIQUES
Écoulements stationnaires
16. HYDRAULIQUE FLUVIALE
Écoulement et phénomènes de transport dans les canaux à géométrie simple
17. BARRAGES
Conception, construction, contrôle
18. MÉCANIQUE DES SOLS ET DES ROCHES
19. FOUILLES ET FONDATIONS
20. OUVRAGES ET TRAVAUX SOUTERRAINS
21. SYSTÈMES ÉNERGÉTIQUES
Offre et demande d'énergie; méthodes d'analyse
22. AMÉNAGEMENTS ÉNERGÉTIQUES
23. ÉTUDES D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT
24. MATÉRIAUX
Constitution et lois de comportements rhéologiques
25. VOIES DE CIRCULATIONS

Le Traité de Génie Civil est une publication des Presses polytechniques et universitaires romandes, fondation scientifique dont le but est principalement la diffusion des travaux de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne. Le catalogue de ces publications peut être obtenu aux **Presses polytechniques et universitaires romandes, CH-1015 Lausanne**

Deuxième édition, ISBN 2-88074-609-4
© 2004, Presses polytechniques et universitaires romandes, CH-1015 Lausanne
Tous droits réservés. Reproduction, même partielle, interdite.
Imprimé en Suisse par Stämpfli SA

Les auteurs et les Presses polytechniques et universitaires romandes remercient
l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne pour le soutien apporté
à la publication du Traité de Génie civil.



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 embrèvements	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 embrèvement	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