

Pierre Latteur

Calculer une structure

De la théorie à l'exemple

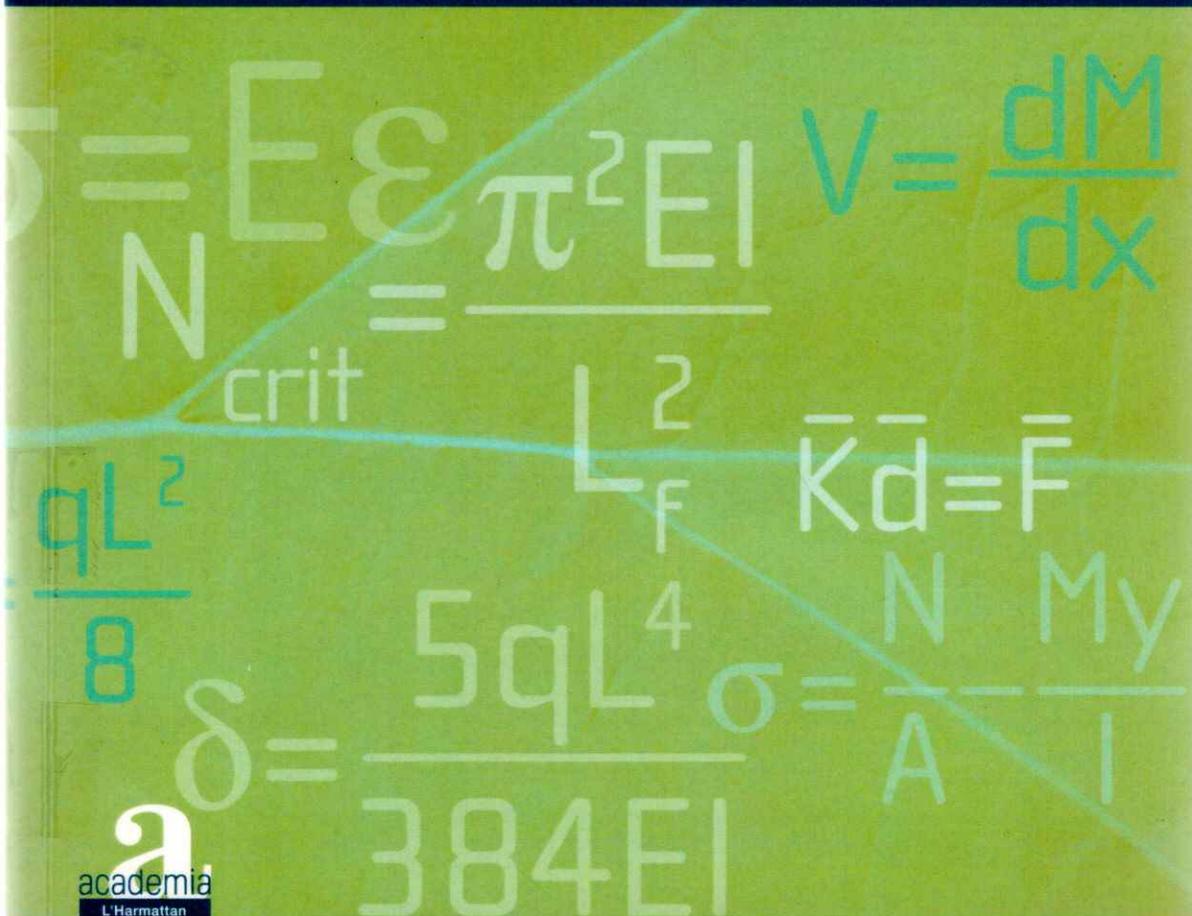


Table des matières

Préface.....	5
Avant-propos.....	7
Chapitre 1. Bases.....	11
1. Préambule	13
2. La place du présent ouvrage dans le contexte général de la mécanique des structures appliquée aux constructions	13
3. Les catégories de structures planes	16
4. Les types d'appuis	17
5. Les dispositifs de libération d'efforts internes (ou coupures).....	19
6. La résolution des structures isostatiques.....	20
7. Loi de Hooke, élasticité linéaire du matériau	21
8. Efforts et contraintes	22
8.1. Les conventions de signes pour la représentation des efforts internes.....	22
8.2. Relation fondamentale entre le moment fléchissant et l'effort tranchant	22
8.3. Lien entre les efforts internes et les contraintes.....	23
8.4. Polygone des forces et Cremona	24
9. Le calcul des déplacements : le théorème de la force unité	25
10. Matériaux à comportement non linéaire et fissuration.....	28
11. Le flambement des éléments droits	29
12. Premier ordre, deuxième ordre, second ordre, p - δ , effet epsilon, P - Δ ,	33
12.1. Exemple préliminaire	33
12.2. Deuxième ordre, troisième ordre, ..., second ordre	34
12.3. Effet P - Δ (P -DELTA).....	34
12.4. Effet P - δ (P -delta), appelé aussi effet epsilon.....	35
13. Éléments finis, cartographies de contraintes.....	36
14. Le flambement d'ensemble	38
15. Comportement dynamique des structures.....	39
15.1. Le calcul des modes propres de vibration	43
15.2. Le calcul de la réponse temporelle de la structure à un spectre d'excitation	45
15.3. Le modèle de mécanique des fluides	47
15.4. Le modèle réduit	47
16. Exemples : résolution de quelques structures isostatiques simples	48

Chapitre 2. Détermination du degré d'hyperstaticité.....	61
1. Définition du degré d'hyperstaticité.....	63
2. Définition d'une barre (élément) et d'un nœud.....	64
3. Procédure intuitive de calcul du degré d'hyperstaticité.....	65
4. Procédure systématique de calcul du degré d'hyperstaticité	66
5. Hypostaticité et mécanismes.....	69
6. Avantages et inconvénients de l'hyperstaticité et de l'isostaticité	70
7. Exemples.....	71
Chapitre 3. Levée d'hyperstaticité : la méthode des forces.....	77
1. Avertissement.....	79
2. Le principe de superposition	79
3. La méthode des forces.....	80
4. Notations	81
5. Cas général d'une structure S^n de degré d'hyperstaticité $I_r = n$	82
6. Calcul du déplacement rectiligne ou angulaire dans une structure hyperstatique : théorème de Pasternak.....	84
7. Quelques remarques.....	86
8. Exemples.....	87
Chapitre 4. Symétrie des structures.....	107
1. Introduction.....	109
2. Étude des structures à symétrie géométrique et symétrie des charges.....	111
3. Étude des structures à symétrie géométrique et antisymétrie des charges.....	115
4. Exemples.....	118
Chapitre 5. Les déplacements imposés.....	127
1. Introduction.....	129
2. Traitement des structures isostatiques.....	130
3. Traitement des structures hyperstatiques.....	130
3.1. Préliminaire : généralisation de la méthode des forces.....	130
3.2. Premier cas : le système de coupures est associé au(x) déplacement(s) imposé(s).....	131
3.3. Second cas : le système de coupures n'est pas associé au(x) déplacement(s) imposé(s).....	133
4. Extension de la notion de déplacement imposé à la notion de matrice de rigidité.....	134
5. Exemples.....	135

Chapitre 6. Les appuis

1. Introduction.....
2. Les types d'appuis.....
3. Généralisation.....
4. Degré d'hyperstaticité.....
5. Traitement des appuis.....
5.1. Exemple 1.....
5.2. Exemple 2.....
6. Traitement des appuis.....
6.1. Premier cas.....
6.2. Deuxième cas.....
6.3. Troisième cas.....
dans le cas général.....
7. Exemples.....

Chapitre 7. Les structures

1. Introduction.....
2. Effet de la température.....
2.1. L'effet de la température.....
2.2. Les forces dues à la température.....
de température.....
2.3. Remarques.....
3. Traitement des structures.....
3.1. Cas d'une structure.....
3.2. Cas d'une structure.....
les forces.....
4. Traitement des structures.....
5. Exemples.....

Chapitre 8. Les trépan

1. Qu'est-ce qu'un trépan.....
2. Efforts et déplacements.....
3. Peut-on se passer.....
4. Calcul des efforts.....
5. Résolution des problèmes.....
6. Barres à efforts.....
7. Résolution des problèmes.....
8. Le flambement.....
9. Exemples.....

Chapitre 6. Les appuis élastiques	145
1. Introduction.....	147
2. Les types d'appuis élastiques	148
3. Généralisation de la notion d'appui élastique.....	150
4. Degré d'hyperstaticité des structures pourvues d'appuis élastiques.....	151
5. Traitement des structures isostatiques.....	151
5.1. Exemple 1.....	152
5.2. Exemple 2.....	153
6. Traitement des structures hyperstatiques.....	154
6.1. Première méthode : la barre équivalente (substitution)	154
6.2. Deuxième méthode : adaptation du système d'inconnues	155
6.3. Troisième méthode : prise en compte des appuis élastiques dans les structures isostatiques	156
7. Exemples.....	158
Chapitre 7. Les actions thermiques	169
1. Introduction.....	171
2. Effet de la température sur un élément de structure	172
2.1. L'élément subit une variation uniforme de température ΔT_{unif}	173
2.2. Les fibres extrêmes subissent par rapport à T_0 des écarts de température égaux en norme mais de signes opposés.....	174
2.3. Remarques importantes.....	175
3. Traitement des structures isostatiques.....	176
3.1. Cas d'une variation uniforme de température	176
3.2. Cas d'une variation différentielle de température entre les fibres extrêmes.....	177
4. Traitement des structures hyperstatiques.....	178
5. Exemples.....	179
Chapitre 8. Les treillis	187
1. Qu'est-ce qu'un treillis ?.....	189
2. Efforts et déformations dans les treillis	190
3. Peut-on se passer des articulations nodales ?	191
4. Calcul du degré d'hyperstaticité d'un treillis	194
5. Résolution des treillis isostatiques.....	194
6. Barres à effort nul.....	197
7. Résolution des treillis hyperstatiques.....	197
8. Le flambement des treillis	199
9. Exemples.....	201

Chapitre 9. Les éléments à faible courbure	215
1. La faible courbure.....	217
2. Les formules de Navier-Bresse.....	218
3. Le flambement des éléments à faible courbure	219
4. Exemples.....	221
Chapitre 10. Les éléments à forte courbure	237
1. Introduction.....	239
2. Les différences entre faible courbure et forte courbure.....	239
3. Caractéristiques de quelques sections courantes.....	241
4. Exemple	242
Chapitre 11. Les arcs funiculaires	247
1. Quel est l'intérêt d'un arc ?	249
2. La forme idéale des arcs et l'analogie avec les câbles	249
3. L'arc parabolique funiculaire.....	251
3.1. Les types d'arcs paraboliques	251
3.2. Justification de la géométrie parabolique.....	252
3.3. Expression des efforts de compression	253
3.4. Longueur totale d'un arc parabolique	254
3.5. Arc avec des appuis à des niveaux différents	254
3.6. Arc à "pattes d'éléphant".....	256
3.7. Flèche verticale à la clé de l'arc parabolique à trois rotules, de section constante, soumis à une charge uniformément distribuée	257
4. Considérations sur l'hyperstaticité des arcs funiculaires.....	261
5. La validité de l'hypothèse de charge uniformément répartie et la notion de chaînette.....	262
6. Les arcs qui n'en sont pas.....	265
7. Généralités sur la statique des arcs.....	265
7.1. Les équations d'équilibre externe et le calcul des réactions d'appui.....	265
7.2. Constance de la composante horizontale de l'effort de compression	265
7.3. Tronçon soumis à l'effort de compression maximal.....	266
7.4. Arc infiniment élancé \Rightarrow effort de compression infini	266
7.5. Théorème d'analogie entre l'arc funiculaire et la poutre	267
8. Le flambement des arcs	268
9. Quel élanement L/H faut-il donner aux arcs ?	272
10. Exemples	273
Chapitre 12. Les arcs non funiculaires	289
1. Préambule : funiculaires, isostaticité et hyperstaticité	291

2.	Traitement de la
	masse élastique
3.	L'arc hyperstatique
4.	L'arc hyperstatique
5.	Simplification des
6.	Flambement des
7.	Exemples

Chapitre 13. Les arcs

1.	Introduction
2.	Généralités sur les arcs
2.1.	Les paraboliques
2.2.	Les hyperstatiques
2.3.	Constantes de section
2.4.	Câbles et arcs
2.5.	Méthode des sections
2.6.	Tronçons soumis à
2.7.	Théorème d'analogie
2.8.	Un arc hyperstatique
2.9.	Comportement des arcs
3.	Les situations hyperstatiques
4.	Les hyperstatiques
5.	Cas 1 : câbles hyperstatiques
5.1.	Paraboliques
5.2.	Hyperstatiques
6.	Cas 2 : câbles hyperstatiques
7.	Cas 3 : câbles hyperstatiques
8.	Cas 4 : câbles hyperstatiques
9.	Cas 5 : câbles hyperstatiques
	et à une charge hyperstatique
10.	Cas 6 : câbles hyperstatiques
11.	Exemples

Chapitre 14. Calcul des arcs

	développés
1.	Avant-propos
2.	Principe de calcul
3.	La poutre hyperstatique
3.1.	Exemples
3.1.1.	Appuis
3.2.	Principe de calcul
3.2.1.	Appuis

215	2.	Traitement de l'hyperstaticité : la notion de centre de masse élastique	294
217	3.	L'arc hyperstatique à deux articulations	297
218	4.	L'arc hyperstatique bi encastré.....	298
219	5.	Simplification des expressions	299
221	6.	Flambement des arcs non funiculaires	300
237	7.	Exemples.....	301
239		Chapitre 13. Les câbles.....	317
239	1.	Introduction.....	319
241	2.	Généralités sur la statique des câbles.....	320
242	2.1.	<i>La parabole et la chaînette.....</i>	320
247	2.2.	<i>Les équations d'équilibre externe et le calcul des réactions d'appui.....</i>	321
249	2.3.	<i>Constance de la composante horizontale de l'effort de traction</i>	321
249	2.4.	<i>Câble droit = effort infini.....</i>	323
251	2.5.	<i>Module d'élasticité selon la corde d'un câble très tendu</i>	323
251	2.6.	<i>Tronçon soumis à l'effort de traction maximal</i>	324
252	2.7.	<i>Théorème d'analogie avec la poutre.....</i>	324
253	2.8.	<i>Un câble peut-il reprendre de la compression ?</i>	326
254	2.9.	<i>Contrôle de la mise en tension dans un câble.....</i>	327
254	3.	Les situations rencontrées en pratique	329
256	4.	Les hypothèses simplificatrices.....	331
257	5.	Cas 1 : câble parabolique	334
261	5.1.	<i>Peut-on négliger le poids propre du câble ?</i>	335
262	5.2.	<i>Peut-on négliger l'extensibilité du câble ?</i>	337
265	6.	Cas 2 : câble inextensible en chaînette	339
265	7.	Cas 3 : câble extensible en chaînette.....	341
265	8.	Cas 4 : câble inextensible soumis à des charges ponctuelles.....	343
265	9.	Cas 5 : câble extensible soumis à des charges ponctuelles et à une charge répartie de type 2.....	346
265	10.	Cas 6 : câble précontraint soumis à effort transversal	348
266	11.	Exemples.....	351
266		Chapitre 14. Calcul numérique des ossatures par la méthode des déplacements.....	371
267	1.	Avant-propos	373
268	2.	Principe de la méthode	373
272	3.	La poutre continue chargée verticalement.....	378
273	3.1.	<i>Exemple illustratif.....</i>	379
289	3.1.1.	<i>Application numérique.....</i>	382
291	3.2.	<i>Prise en compte des charges réparties.....</i>	384
	3.2.1.	<i>Application numérique.....</i>	385

3.3.	Récapitulation de la méthode appliquée aux poutres continues.....	388
4.	Le treillis plan.....	395
4.1.	Matrice de rigidité d'un élément de treillis oblique, exprimée dans le repère local (x,y)	395
4.2.	Matrice de rigidité d'un élément de treillis exprimée dans le repère global (X,Y)	396
4.3.	Récapitulatif de la méthode appliquée aux treillis 2D.....	397
4.4.	Exemple numérique.....	401
5.	L'ossature plane.....	407
5.1.	Récapitulation.....	407
Chapitre 15. Éléments d'optimisation structurale.....		413
Partie 1 : introduction.....		415
Partie 2 : optimisation des éléments comprimés et des éléments fléchis ...		423
1.	Optimisation des éléments comprimés.....	423
1.1.	Rappel : formule d'Euler et formule d'Euler corrigée (Rankine).....	423
1.2.	Notion d'indicateur de flambement.....	423
1.3.	Quantification de l'importance du flambement sur la section.....	425
1.4.	Influence du type de matériau.....	428
1.5.	Influence du type de section transversale.....	430
2.	Optimisation des éléments fléchis.....	432
2.1.	Quantification de l'importance de la flexion sur la section.....	432
2.2.	Influence du type de matériau.....	434
2.3.	Influence du type de section transversale.....	436
Partie 3 : optimisation des structures : introduction à la théorie des indicateurs morphologiques.....		438
1.	Indicateurs morphologiques : historique.....	438
2.	Optimisation des structures soumises uniquement à l'effort normal : treillis, arcs funiculaires et câbles.....	440
2.1.	Étude préliminaire du poids propre et de la raideur d'une structure à deux barres.....	440
2.1.1.	Pas de prise en compte du flambement.....	441
2.1.2.	Prise en compte du flambement.....	443
2.1.3.	Exemple numérique.....	446
2.2.	Généralisation à un treillis quelconque.....	447
2.2.1.	Pas de prise en compte du flambement.....	449
2.2.2.	Prise en compte du flambement.....	451
2.2.3.	Exemple numérique.....	454
2.3.	Extension de la théorie aux arcs funiculaires paraboliques et aux câbles.....	455
2.3.1.	Exemple numérique.....	457

3. Généralisation

Chapitre 16. Les lignes d'influence

1. Introduction
2. Qu'est-ce qu'une ligne d'influence ?
3. Utilité pratique
4. Le théorème de Betti
5. Lignes d'influence pour une poutre hyperstat
6. Lignes d'influence pour un treillis hyperstat
7. Compléments
8. Exemple

Bibliographie

Table des matières

388	3.	Généralisation	459
395			
395		Chapitre 16. Les lignes d'influence	465
396	1.	Introduction.....	467
397	2.	Qu'est-ce qu'une ligne d'influence ?	467
401	3.	Utilité pratique d'une ligne d'influence	469
407	4.	Le théorème de Müller-Breslau, ou comment tracer rapidement une ligne d'influence	472
407	5.	Lignes d'influence des structures hyperstatiques	474
413	6.	Lignes d'influence d'un déplacement.....	475
415	7.	Compléments	476
	8.	Exemple	477
		Bibliographie	479
		Table des matières	481



Cet ouvrage trouve sa place à mi-parcours entre la théorie de base de la résistance des matériaux et les méthodes de dimensionnement particulières propres aux différents matériaux. Il est écrit de manière à marquer une transition entre des décennies de calcul manuel et une ère nouvelle dans laquelle le calculateur doit pouvoir utiliser la puissance des logiciels de calcul en connaissance de cause tout en conservant un œil critique sur les résultats qu'ils procurent.

Particulièrement pédagogique et pragmatique, ce livre passe en revue les bases théoriques en les illustrant d'exercices entièrement résolus et commentés.

Dans ce contexte il s'adresse à un large public allant de l'étudiant ingénieur ou architecte à l'ingénieur praticien et à l'architecte en passant par l'entrepreneur ou le concepteur de logiciels.

L'ouvrage parcourt les aspects suivants de la mécanique des structures : hyperstaticité, symétrie, déplacements imposés, appuis élastiques, actions thermiques, treillis, éléments à faible courbure, éléments à forte courbure, arcs funiculaires, arcs non funiculaires, câbles, méthodes numériques, optimisation structurale, lignes d'influence.

Aujourd'hui professeur à l'UCL (Université catholique de Louvain/École polytechnique) et à l'ULg (Université de Liège/Agro-Bio Tech), Pierre Latteur a pu acquérir une grande expérience pratique des projets de construction au sein de bureaux d'études renommés.



ISBN 978-2-8061-0270-5



4^e ÉDITION

PRIX: 49 €

www.editions-academia.be