

624-1-2/1

2-624-1-2/1

——— Traité de Génie Civil ———
de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne
publié sous la direction de René Walther

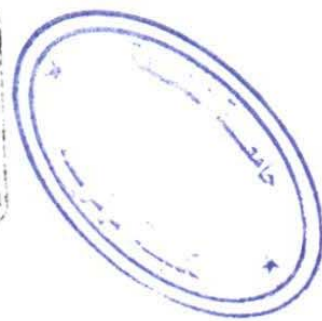
Volume 2

ANALYSE DES STRUCTURES ET MILIEUX CONTINUS

Mécanique des structures

François Frey

Professeur à l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne



PRESSES POLYTECHNIQUES ET UNIVERSITAIRES ROMANDES

Table des matières

AVANT-PROPOS	v
INTRODUCTION	vii
TABLE DES MATIÈRES	ix
 PREMIÈRE PARTIE.....	 1
Connaissances de base et analyse élastique	3
1. Contrainte et principe d'équivalence	
1.1 Notion de contrainte.....	5
1.2 Hypothèses et remarques	6
1.3 Application aux poutres et principe d'équivalence	6
1.4 Lexique.....	8
2. De l'essai de traction à quelques principes fondamentaux	
2.1 Loi de Hooke.....	9
2.2 Loi constitutive et propriétés mécaniques	11
2.3 Loi de Hooke unidimensionnelle et module d'élasticité.....	11
2.4 Essai de traction ou de compression.....	13
2.5 Diagramme de l'essai de traction ou compression.....	16
2.6 Déformation transversale et coefficient de Poisson.....	19
2.7 Quelques conséquences fondamentales	21
2.8 Problèmes dynamiques	26
2.9 Exercices	26
2.10 Lexique.....	28
3. Notion de sécurité	
3.1 Introduction	31
3.2 Incertitudes	31
3.3 Conception classique ou déterministe de la sécurité	32
3.4 Conception semi-probabiliste de la sécurité	34
3.5 Commentaires	39
3.6 Exercices	39
3.7 Lexique.....	40

4. Traction et compression

4.1	Poutres prismatiques soumises à un effort normal constant.....	43
4.2	Pièces à section et effort normal variables	44
4.3	Pièces formées de deux matériaux	45
4.4	Pièces composées acier-béton	47
4.5	Principe de la précontrainte	49
4.6	Anneaux	53
4.7	Tubes et récipients cylindriques sous pression	54
4.8	Dilatations thermiques	56
4.9	Sécurité des pièces tendues et comprimées	57
4.10	Exercices	58
4.11	Lexique	63

5. Flexion plane

5.1	Flexion pure et flexion simple	65
5.2	Flexion pure plane	66
5.3	Poutres à section non symétrique	71
5.4	Signe, module de flexion et sécurité	72
5.5	Forme rationnelle des sections droites des poutres fléchies	74
5.6	Poutres composées de matériaux différents	76
5.7	Flexion simple	77
5.8	Exercices	78
5.9	Lexique	82

6. Flexion oblique et flexion composée

6.1	Flexion oblique	83
6.2	Flexion composée	85
6.3	Flexion composée plane	85
6.4	Flexion composée oblique	90
6.5	Exercices	92
6.6	Lexique	96
6.7	Annexe – Relations supplémentaires	96

7. Propriétés mécaniques des matériaux

7.1	Importance et complexité du problème	99
7.2	Essai de traction sur matériaux ductiles (métaux)	100
7.3	Essai de fatigue	105
7.4	Deux effets de la température	106
7.5	Influence du temps	108

7.6	Modèles mathématiques des matériaux (lois constitutives ou de comportement).....	113
7.7	Modèles unidimensionnels indépendants du temps.....	113
7.8	Modèles unidimensionnels dépendants du temps.....	116
7.9	Modèles à deux et trois dimensions.....	119
7.10	Critères rhéologiques.....	120
7.11	Exercices.....	127
7.12	Lexique.....	130
8.	Torsion uniforme	
8.1	Introduction.....	133
8.2	Poutres à section circulaire.....	134
8.3	Essai et résistance.....	136
8.4	Types de section droite.....	138
8.5	Sections massives.....	139
8.6	Sections ouvertes à parois minces.....	140
8.7	Sections fermées à parois minces.....	142
8.8	Forme rationnelle des sections droites.....	146
8.9	Sections composées.....	147
8.10	Poutres composées de deux matériaux.....	150
8.11	Exercices.....	151
8.12	Lexique.....	155
9.	Contraintes dues à l'effort tranchant	
9.1	Introduction.....	157
9.2	Théorie élémentaire.....	157
9.3	Effort rasant.....	158
9.4	Poutres à parois minces.....	162
9.5	Poutres à parois minces et à section ouverte.....	162
9.6	Poutres composées de deux matériaux.....	166
9.7	Poutres tubulaires à parois minces.....	168
9.8	Poutres à section massive.....	170
9.9	Centre de cisaillement ou centre de torsion.....	173
9.10	Coïncidence des centres de torsion et de cisaillement.....	177
9.11	Poutres à section variable.....	178
9.12	Résistance.....	180
9.13	Exercices.....	180
9.14	Lexique.....	184

10. Déformée des poutres soumises à flexion simple

10.1	Introduction	185
10.2	Déformée due au moment de flexion	185
10.3	Cinématique sous l'action de l'effort tranchant	191
10.4	Exercices	196
10.5	Lexique	197

11. Sollicitation composée – Cisaillement direct – Assemblages

11.1	Sollicitation composée	199
11.2	Assemblages et moyens d'assemblage	201
11.3	Cisaillement direct et rupture des assemblages	203
11.4	Calcul des assemblages longitudinaux	205
11.5	Exercices	208
11.6	Lexique	213

12. Principes des travaux virtuels et calcul des déplacements

12.1	Introduction	215
12.2	Forme du travail virtuel intérieur	216
12.3	Forme intégrale de l'équilibre ou principe des déplacements virtuels	217
12.4	Forme intégrale de la compatibilité ou principe des forces virtuelles	218
12.5	Remarques et rappels	219
12.6	Théorème de la force unité	220
12.7	Cas des matériaux élastiques linéaires	221
12.8	Calcul des déplacements	222
12.9	Structures hyperstatiques	226
12.10	Exercices	228
12.11	Lexique	234

13. Energie

13.1	Introduction	237
13.2	Expression de l'énergie	237
13.3	Théorème de réciprocité de Betti-Rayleigh	239
13.4	Théorème de Maxwell	239
13.5	Théorèmes de stationnarité et théorèmes énergétiques	240
13.6	Méthode de Rayleigh-Ritz	241
13.7	Exercices	243
13.8	Lexique	244
13.9	Annexe – Passage de la forme variationnelle à la forme différentielle	245

DEUXIÈME PARTIE	247
Plasticité et analyse limite	249
14. Traction plastique	
14.1 Matériau élastique parfaitement plastique	251
14.2 Traction plastique	252
14.3 Quelques propriétés importantes	254
14.4 Exercices	256
14.5 Lexique	257
15. Flexion plastique plane	
15.1 Généralités	259
15.2 Sections doublement symétriques	260
15.3 Sections à un seul axe de symétrie	263
15.4 Pièces composées	264
15.5 Loi moment-courbure	264
15.6 Sections âme-semelles bisymétriques	266
15.7 Notion de rotule plastique	268
15.8 Conclusions	271
15.9 Exercices	272
15.10 Lexique	273
16. Calcul de la charge limite des structures hyperstatiques simples	
16.1 Poutre bi-encastree chargée uniformément	275
16.2 Ruine d'une structure hyperstatique	277
16.3 Calcul de la charge limite par le principe des déplacements virtuels	279
16.4 Bénéfice dû à la plasticité	281
16.5 Domaine de validité de la théorie de l'analyse limite	282
16.6 Insensibilité de la charge limite vis-à-vis des autocontraintes de la structure	282
16.7 Vérifications expérimentales de la théorie de l'analyse limite	283
16.8 Exercices	285
16.9 Lexique	286
17. Théorèmes fondamentaux de l'analyse limite	
17.1 But des théorèmes	287
17.2 Loi constitutive	288
17.3 Statique licite	289
17.4 Cinématique licite	289
17.5 Multiplicateur limite	289
17.6 Théorème statique	289

17.7	Théorème cinématique	290
17.8	Théorème combiné	292
17.9	Mise en œuvre des théorèmes	292
17.10	Applications	294
17.11	Exercices	296
17.12	Lexique	297
18.	Flexion plastique composée et simple	
18.1	Introduction	299
18.2	Flexion composée	299
18.3	Flexion simple	302
18.4	Action simultanée du moment de flexion, de l'effort normal et de l'effort tranchant	305
18.5	Analyse limite en présence de l'effort normal et de l'effort tranchant	305
18.6	Exercices	305*
18.7	Lexique	306
19.	Torsion plastique uniforme	
19.1	Sections massives	307
19.2	Sections ouvertes à parois minces	309
19.3	Sections creuses unicellulaires	311
19.4	Exercices	312
19.5	Lexique	313
	TROISIÈME PARTIE	315
	Instabilité par flambement	317
20.	Flambement des poutres	
20.1	Phénomènes de flambement	319
20.2	Flambement plan élastique par divergence	323
20.3	Flambement plan élastique par bifurcation	331
20.4	Elancement	340
20.5	Flambement plan élasto-plastique par bifurcation	343
20.6	Exercices	346
20.7	Lexique	352
20.8	Annexe	354
21.	Flambement plan des pièces industrielles	
21.1	Imperfections des pièces industrielles	359
21.2	Importance des imperfections en instabilité	361
21.3	Pièces industrielles essentiellement comprimées	362

21.4	Pièces industrielles comprimées et fléchies	365
21.5	Vérification de la résistance	370
21.6	Exercices	375
21.7	Lexique	377
21.8	Annexe – Courbes européennes de flambement des pièces en acier	377
22.	Instabilité énergétique	
22.1	Critère et nature de l'équilibre élastique	381
22.2	Nature de l'instabilité	383
22.3	Critère d'instabilité	385
22.4	Instabilité linéaire et principe de Rayleigh	386
22.5	Application au flambement des poutres	387
22.6	Exercices	391
22.7	Lexique	392
22.8	Annexe	393
23.	Annexes	
23.1	Caractéristiques mécaniques de quelques matériaux	395
23.2	Tableaux de $\int_0^L M m dx$	398
23.3	Réactions d'appui, moments fléchissants, flèches et angles de rotation des poutres à une travée	403
23.4	Module plastique Z de la section droite de quelques profilés laminés	415
23.5	Caractéristiques géométriques de la section droite des profilés laminés des exercices ...	418
	SOLUTION DES EXERCICES	423
	BIBLIOGRAPHIE	437
	INDEX	439
	NOTATIONS	445
	ABRÉVIATIONS ET SYMBOLES	451