

— Traité de Génie Civil —

de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne

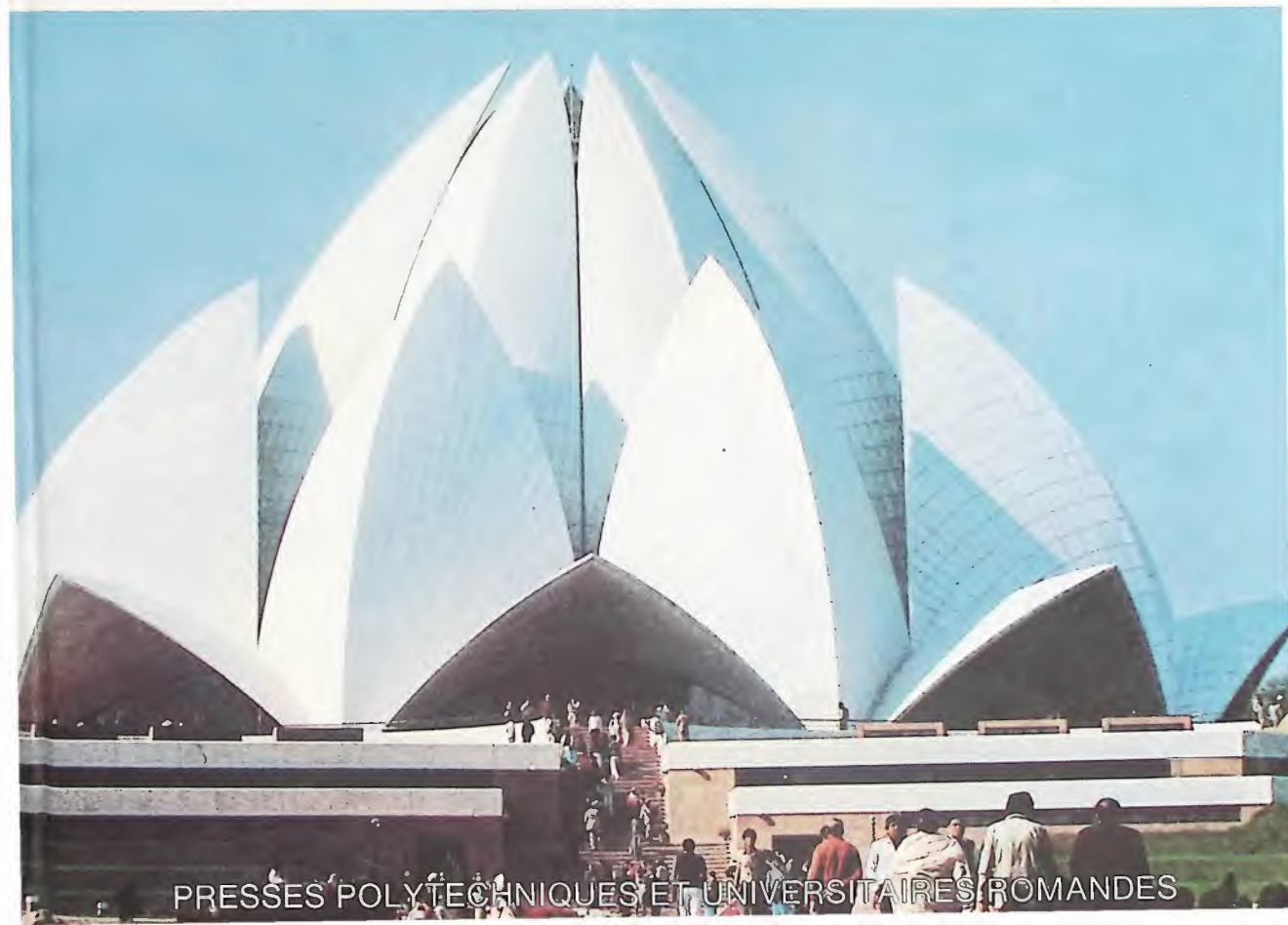
Volume 7

DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES EN BÉTON

Bases et technologie

René Walther

Manfred Miehlbradt



PRESSES POLYTECHNIQUES ET UNIVERSITAIRES ROMANDES

DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES EN BÉTON

Bases et technologie

René Walther

Manfred Miehlsbradt

Ce premier volume relatif aux structures en béton traite la technologie du matériau composite béton-acier (y compris la précontrainte), les bases de calcul et les détails de construction.

Les explications ont un caractère général, les développements numériques tiennent compte des nouvelles normes SIA 160 (charges, sécurité) et 162 (béton armé et précontraint). Par conséquent, l'accent est mis sur le dimensionnement d'après la théorie de la plasticité (répartition des efforts intérieurs et vérifications des sections) ainsi que sur la détermination des sollicitations en service basée sur un calcul élastique (contraintes aux états non fissuré ou fissuré). Dans les différents chapitres, les problèmes sont d'abord exposés pour le béton armé, puis élargis au béton précontraint, en particulier à la précontrainte partielle.

De nombreux exemples d'application complètent cet ouvrage largement illustré qui s'adresse aux étudiants, mais également aux ingénieurs de la pratique s'intéressant aux bases scientifiques des normes modernes nationales et internationales (Code Modèle CEB/FIP, Eurocodes de la CCE).

ISBN 2-88074-175-0



9 782880 741754

Table des matières

AVANT-PROPOS	v
TABLE DES MATIÈRES	vii
1. Introduction	1
1.1 Généralités	3
1.2 Elaboration des projets	7
1.3 Historique	8
1.4 Modes de sollicitation	10
1.4.1 Types de structures	10
1.4.2 Structures linéaires	10
1.4.3 Structures à parois minces	11
1.4.4 Structures en milieu continu	13
1.5 Méthodes d'analyse et de dimensionnement	14
1.5.1 Principes	14
1.5.2 Règles des normes SIA 160 (1989) et SIA 162 (1989)	16
1.5.3 Concept du Code Modèle CEB/FIP (1978)	16
1.6 Actions sur les structures	17
1.6.1 Remarques préliminaires	17
1.6.2 Norme SIA 160 (1989)	18
1.6.2.1 Principes	18
1.6.2.2 Sécurité structurale	18
1.6.2.3 Aptitude au service	19
1.6.2.4 Comparaison avec les anciennes normes	20
1.6.3 Code Modèle CEB/FIP (1978)	21
1.7 Notations, unités et convention de signes	22
Références	22
2. Matériaux	25
2.1 Remarques introductives	27
2.2 Béton	27
2.2.1 Introduction	27
2.2.2 Types de bétons	27
2.2.3 Composition	28
2.2.4 Résistance à la compression	28
2.2.4.1 Généralités	28
2.2.4.2 Valeur de calcul	29
2.2.4.3 Variation de la résistance avec l'âge	30
2.2.4.4 Résistance à la fatigue	30
2.2.5 Résistance à la traction	30
2.2.6 Résistance aux sollicitations biaxiales et triaxiales	31
2.2.7 Déformations instantanées	31

2.2.8	Fluage	34
2.2.9	Retrait	35
2.2.10	Dilatation thermique	36
2.2.11	Caractéristiques diverses	36
2.3	Aciers	37
2.3.1	Types d'aciers	37
2.3.2	Résistance, déformations	38
2.3.3	Résistance à la fatigue	40
2.3.4	Capacité d'adhérence	40
2.3.5	Dilatation thermique	40
2.3.6	Diamètre nominal des barres nervurées	41
2.3.7	Relaxation des aciers de précontrainte	41
2.4	Rappel de quelques valeurs numériques	42
2.4.1	Bétons usuels	42
2.4.2	Aciers d'armature (utilisés en Suisse)	42
	Références	42
3.	Bases générales de la flexion	43
3.1	Définitions et principes fondamentaux	45
3.2	Principe d'équivalence	46
3.3	Condition de compatibilité	48
3.4	Lois contraintes-déformations	51
3.5	Détermination des forces intérieures	52
3.6	Synthèse	55
	Références	56
4.	Sections soumises à l'effort normal	57
4.1	Avant-propos	59
4.2	Compression centrée N (-)	59
4.2.1	Généralités	61
	Exemple	62
4.2.2	Synthèse et limitation des taux d'armature	63
4.2.3	Colonnes à très haute résistance	66
4.3	Traction centrée N (+)	68
4.4	Précontrainte centrée	68
4.4.1	Généralités	71
4.4.2	Applications	74
	Références	75
5.	Sections soumises à la flexion simple	77
5.1	Remarques préliminaires	77
5.2	Calcul en phase élastique	77
5.2.1	Section rectangulaire	80
	Exemple	

5.2.2	Section en T _é	81
5.3	Calcul à la rupture	84
5.3.1	Section rectangulaire, règles générales	84
5.3.2	Section rectangulaire, dimensionnement selon les normes SIA	87
5.3.3	Section en T _é	89
5.4	Comparaison entre les calculs en phase élastique et à la rupture	92
	Exemple de calcul parallèle	92
6.	Sections soumises à la flexion composée	95
6.1	Sections non fissurées	97
6.1.1	Calcul en phase élastique	97
6.1.2	Calcul à la rupture	97
6.2	Sections fissurées	99
6.2.1	Calcul en phase élastique	99
6.2.1.1	Section rectangulaire	99
6.2.1.2	Méthode de Wuczkowski	102
6.2.1.3	Section quelconque	104
6.2.2	Calcul à la rupture	104
6.2.2.1	Section rectangulaire	104
6.2.2.2	Méthode de Wuczkowski	107
6.2.2.3	Section quelconque	108
6.2.3	Comparaison entre les calculs en phase élastique et à la rupture	110
7.	Sections précontraintes	113
7.1	Généralités	115
7.2	Forces de précontrainte	115
7.3	Calcul en phase élastique non fissurée	117
	Exemple	119
7.4	Calcul en phase élastique fissurée	120
	Exemple	121
7.5	Calcul à la rupture	123
	Exemple	125
7.6	Comparaison entre les calculs en phase élastique et à la rupture	126
8.	Sections soumises à la flexion oblique	129
8.1	Généralités	131
8.2	Calcul en phase élastique	131
8.3	Calcul à la rupture	132
8.3.1	Approche itérative	132
8.3.2	Abaques de dimensionnement	135
8.4	Comparaison entre les calculs en phase élastique et à la rupture	137
	Exemple	137
9.	Zones soumises à l'effort tranchant	143
9.1	Introduction	145

9.2	Etat homogène, non fissuré	146
9.3	Calcul à l'état fissuré	148
9.3.1	Généralités	148
9.3.2	Analogie classique du treillis	150
9.3.3	Comparaison expérimentale et modifications empiriques	154
9.4	Dimensionnement selon la norme SIA 162 (1989)	159
9.4.1	Généralités	159
9.4.2	Méthode de calcul à la rupture	162
9.4.3	Effets de la précontrainte	166
	<i>Exemple</i>	168
9.4.4	Cas particuliers	171
9.4.4.1	Etriers inclinés	171
9.4.4.2	Etriers précontraints	173
9.4.4.3	Poutres à hauteur variable munies d'étriers verticaux	173
9.4.4.4	Liaison des ailes à l'âme	174
	Références	178
10.	Eléments soumis à la torsion	179
10.1	Introduction	181
10.2	Etat homogène, non fissuré	183
10.3	Calcul à l'état fissuré en torsion simple	187
10.3.1	Comportement en phase ultime	187
10.3.2	Dimensionnement selon la norme SIA 162 (1989)	190
10.3.2.1	Généralités	190
10.3.2.2	Méthode de calcul à la rupture	191
10.4	Sollicitations combinées	195
10.4.1	Comportement en phase ultime	195
10.4.2	Calcul par superposition des armatures	197
10.4.3	Calcul par parois efficaces	199
	<i>Exemple</i>	200
	Références	202
11.	Dimensionnement global des systèmes d'après la théorie de la plasticité.	203
11.1	Généralités	205
11.2	Rappel des bases	205
11.2.1	Ductilité	206
11.2.2	Méthode statique	208
11.2.3	Méthode cinématique	209
11.3	Ductilité des structures en béton	213
11.4	Applications pratiques	213
11.4.1	Remarques générales	215
	<i>Exemple</i>	217
11.4.2	Exemple d'un pont construit par encorbellement	219
	Références	219

12.	Détails de construction	221
12.1	Règles générales	223
12.1.1	Introduction	223
12.1.2	Armatures	224
12.1.2.1	Généralités	225
12.1.2.2	Fourniture	226
12.1.2.3	Formes standard	227
12.1.2.4	Rayons minimaux	227
12.1.2.5	Liste standard de fers	228
12.1.2.6	Mise en place	229
12.1.3	Enrobage	232
12.1.4	Diamètre et écartement des barres	233
12.1.5	Ancrage des barres d'armature	239
12.1.6	Jonction des barres d'armature	239
12.1.6.1	Généralités	239
12.1.6.2	Joints à recouvrement	241
12.1.6.3	Joints soudés	243
12.1.6.4	Joints par dispositifs mécaniques	244
12.1.6.5	Joints de barres en compression	244
12.1.7	Forces de déviation	248
12.1.8	Treillis d'armature	252
12.2	Armature des poutres	252
12.2.1	Armature longitudinale	255
12.2.2	Armature transversale, armature d'effort tranchant	260
12.2.3	Appuis, cas particuliers	263
12.2.4	Angles des cadres	266
12.2.5	Poutres sollicitées en torsion	268
12.3	Armature des colonnes	268
12.3.1	Généralités	270
12.3.2	Consoles	271
12.4	Arrêts de bétonnage	272
	Références	272
13.	Principes et technologie de la précontrainte	273
13.1	Aperçu historique	275
13.2	Principe de la précontrainte	275
13.3	Utilisation des aciers à très haute résistance	279
13.4	Degré de précontrainte	282
13.4.1	Remarques générales	282
13.4.2	Limitation des contraintes	283
13.4.3	Degré de balancement	286
13.4.4	Degré de précontrainte mécanique	288
13.5	Méthodes de précontrainte	288
13.5.1	Introduction	288
13.5.2	Pré-tension	289

13.5.3	Post-tension	289
13.5.4	Précontrainte par bobinage	291
13.5.5	Précontrainte thermique	292
13.5.6	Précontrainte extérieure par vérins plats	292
13.5.7	Précontrainte extérieure par câbles	293
13.5.8	Précontrainte chimique	295
13.6	Systèmes de précontrainte	295
13.6.1	Principes	295
13.6.2	Ancrages fixes	296
13.6.3	Ancrages mobiles	296
13.6.4	Coupleurs (ou accouplements)	299
13.6.5	Ancrages intermédiaires	299
13.6.6	Ancrages multiples	300
13.7	Détails de construction	300
13.7.1	Étapes d'exécution	301
13.7.2	Pose des câbles	302
13.7.3	Bétonnage	302
13.7.4	Mise en tension des câbles	303
13.7.5	Injection des câbles	303
13.7.6	Cachetage	303
13.8	Efforts locaux	303
13.8.1	Résistance des ancrages	303
13.8.2	Forces et contraintes dans les zones d'ancrage	305
13.8.3	Dimensionnement de l'armature transversale dans les zones d'ancrage	308
13.8.4	Disposition de l'armature dans les zones d'ancrage	310
13.8.5	Forces de déviation	310
13.9	Pertes de tension dans les câbles	310
13.9.1	Introduction	311
13.9.2	Calcul des pertes dues au frottement	313
13.9.3	Allongement du câble	313
	<i>Exemple</i>	315
13.9.4	Pertes différées	316
	<i>Exemple</i>	316
14.	Précontrainte des systèmes hyperstatiques	319
14.1	Introduction	321
14.2	Notations et convention de signes	322
14.3	Méthodes de calcul pour la détermination des efforts hyperstatiques	323
14.4	Méthode des forces	326
14.5	Méthode des déplacements	331
14.5.1	Généralités	331
14.5.2	Exemple d'analyse de la précontrainte par la méthode des déplacements, pour un passage supérieur d'autoroute	335
14.6	Méthodes itératives	339
14.6.1	Introduction	339
14.6.2	Méthode de Cross	340

		341
	<i>Exemple</i>	342
14.6.3	Méthode de Kani	345
	<i>Exemple</i>	345
14.7	Précontrainte optimale des cadres	349
14.8	Vérification de la sécurité structurale des systèmes hyperstatiques précontraints	349
14.8.1	Introduction	349
14.8.2	Sécurité structurale des systèmes hyperstatiques précontraints	352
	<i>Exemple</i>	354
14.9	Résumé et théorèmes	354
	Références	355
15.	Annexes	381
	NOTATIONS	385
	INDEX	385