

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos	1
1. Présentation des eurocodes et de l'ouvrage	1
2. Références règlementaires	2
3. Numérotation des formules	3
4. Couleurs des figures	4
5. Notations et symboles particuliers	4
Notations et symboles	7
1. Majuscules romaines	7
2. Minuscules romaines	10
3. Majuscules ou minuscules grecques	14
I Analyse structurale	17
I. RAPPELS THÉORIQUES	17
1. Définition	17
2. Modélisation des structures	17
2.1 Éléments de structures	18
2.1.1 Poutre et poutre-cloison	18
2.1.2 Poteaux et voiles	18
2.1.3 Dalles	18
2.2 Largeur participante des poutres en T	19
2.3 Portées utiles des poutres et dalles	20
2.3.1 Définitions – Principes	20
2.3.2 Portées à prendre en compte dans les calculs	22
2.4 Imperfections géométriques	22
2.4.1 Cas des éléments isolés et des ponts	24
2.4.2 Cas des structures	26
2.5 Moments sur appuis – Vérifications	26
3. Méthodes de calcul	27
3.1 Types d'analyse structurale	28
3.1.1 Analyse vis-à-vis des états limites de service	28
3.1.2 Analyse vis-à-vis de l'état limite ultime	28
3.2 Analyse élastique linéaire	28
3.3 Analyse linéaire avec redistribution limitée des moments	29
3.4 Analyse plastique	30
3.4.1 Dispense de la vérification de la capacité de rotation	31
3.4.2 Vérification de la capacité de rotation	31
3.4.3 Analyse par la méthode avec bielles et tirants	33
3.5 Analyse non linéaire	34

4.	Analyse structurale des poutres et des portiques	34
4.1	Analyse élastique et linéaire	34
4.2	Analyse linéaire avec redistribution limitée des moments	35
4.3	Analyse plastique	35
4.4	Analyse non linéaire	35
4.5	Dispositions constructives – Aciers en chapeau	35
4.5.1	Chapeaux sur appuis de rive	35
4.5.2	Chapeaux sur appuis intermédiaires	36
5.	Analyse structurale des dalles	36
5.1	Analyse élastique et linéaire	37
5.2	Analyse linéaire avec redistribution limitée des moments	37
5.3	Analyse plastique	37
5.4	Analyse non linéaire	38
5.5	Dispositions constructives	38
5.5.1	Armatures de flexion	38
5.5.2	Armatures d'effort tranchant	41
II.	APPLICATIONS	42
	Application n° 1 : analyse d'une poutre	42
	–Énoncé–	42
	–Corrigé–	43
	Application n° 2 : analyse d'une poutre continue	52
	–Énoncé–	52
	–Corrigé–	53

2 Instabilité de forme – Flambement 69

I.	RAPPELS THÉORIQUES	69
1.	Rappels de résistance des matériaux	69
1.1	Force critique d'Euler	69
1.2	Amplification de la déformée d'une poutre comprimée	70
1.2.1	Équation différentielle de la ligne moyenne déformée	71
1.2.2	Solution de l'équation de la ligne moyenne déformée – Coefficient d'amplification	71
1.2.3	Excentricités du premier et du second ordre	73
2.	Classification des structures et des éléments structuraux	75
2.1	Éléments contreventés et non contreventés	75
2.2	Cas des poteaux isolés	75
2.2.1	Élancement	75
2.2.2	Cas des sections rectangulaires	76
2.2.3	Cas des sections circulaires	76
2.3	Cas des éléments de structure isolés	76
3.	Imperfections géométriques	78
4.	Méthode générale	78
4.1	Domaine d'application	79
4.2	Hypothèses complémentaires	80
4.2.1	Hypothèses mécaniques	80
4.2.2	Hypothèse géométrique supplémentaire	82
4.3	Excentricité « externe »	83

4.4	Excentricité « interne »	84
4.5	Étude de l'équilibre	85
4.6	Méthode de l'équilibre – Méthode des déformations internes	87
4.6.1	Méthode générale	87
4.6.2	Méthode simplifiée	87
4.6.3	Remarque	88
4.7	Cas des sections rectangulaires à deux nappes d'armatures	88
5.	Dispense de la vérification de l'état limite ultime de stabilité de forme (flambement)	92
5.1	Cas des éléments isolés	92
5.2	Cas des structures	94
6.	Méthodes ramenant la vérification de stabilité de forme à un calcul de section – Méthode de la rigidité	95
6.1	Domaine de validité	95
6.2	Rigidité nominale	95
6.2.1	Cas où $0,002 \leq \rho = \frac{A_s}{A_c} < 0,01$	96
6.2.2	Cas où $\rho = \frac{A_s}{A_c} \geq 0,01$	96
6.3	Principe de la méthode	97
6.4	Cas des poteaux isolés avec excentricités du premier ordre différentes aux deux extrémités	99
6.5	Processus d'application de la méthode de la rigidité	99
7.	Méthodes ramenant la vérification de stabilité de forme à un calcul de section – Méthode de l'estimation de la courbure	101
7.1	Domaine de validité	101
7.2	Principe de la méthode	101
7.2.1	Introduction	101
7.2.2	Moment de calcul de l'élément	106
7.2.3	Courbure	107
7.3	Processus d'application de la méthode de l'estimation de la courbure	109
II.	APPLICATIONS	111
	Application n° 1 : vérification au flambement par la méthode de l'équilibre (charges quelconques)	111
	–Énoncé–	111
	–Corrigé–	112
	Application n° 2 : dimensionnement des armatures par la méthode de la rigidité	124
	–Énoncé–	124
	–Corrigé–	125
	Application n° 3 : vérification au flambement par la méthode de l'estimation de la courbure	138
	–Énoncé–	138
	–Corrigé–	139

Application n° 4 : dimensionnement des armatures par la méthode de l'estimation de la courbure	148
-Énoncé-	148
-Corrigé-	149

3 État limite de service de maîtrise de la fissuration 161

I. RAPPELS THÉORIQUES	161
1. Considérations générales	161
2. Exigences	162
3. Section minimale d'armatures	163
3.1 Cas général	163
3.2 Cas des sections rectangulaires	165
4. Calcul des ouvertures de fissures	166
4.1 Introduction	166
4.2 Principe du calcul	169
4.2.1 Ouverture moyenne des fissures	169
4.2.2 Distance moyenne s_{rm} entre fissures	170
4.2.3 Allongement relatif de l'armature par rapport au béton ...	170
4.3 Espacement maximal des fissures $s_{r,max}$	174
4.3.1 Armatures tendues avec faible espacement	174
4.3.2 Armatures tendues avec espacement important	175
4.3.3 Éléments armés dans deux directions orthogonales	176
4.4 Ouverture calculée des fissures	176
4.5 Vérification	178
5. Contrôle de la fissuration sans calcul direct	178
5.1 Cas des dalles de bâtiment	178
5.2 Autres cas	178
5.2.1 Fissuration due principalement aux déformations gênées ...	179
5.2.2 Fissuration due principalement aux charges	180
6. Armatures de peau	181
6.1 Domaine d'application	181
6.2 Armatures de peau supplémentaires	181
II. APPLICATION	182
Application : section rectangulaire – Maîtrise de la fissuration ...	182
-Énoncé-	182
-Corrigé-	182

4 État limite de service de déformation 197

I. RAPPELS THÉORIQUES	197
1. Généralités	197
1.1 Influence de la fissuration sur la flèche	197
1.2 Influence de la durée d'application des charges sur la déformée ..	198
1.3 Influence de l'inertie	198
1.3.1 Rappels de résistance des matériaux	198
1.3.2 Particularités du béton armé	199

2.	Calcul des flèches à l'état limite de service de déformation	200
2.1	Section entièrement comprimée	200
2.2	Section partiellement tendue	200
2.2.1	Courbure dans l'état fissuré	200
2.2.2	Courbure dans l'état non fissuré	203
2.2.3	Déformations	205
2.2.4	Méthode de la double intégration de la courbure	205
2.2.5	Paramètres de déformation	208
2.2.6	Calcul des flèches	209
2.3	Méthodes simplifiées	210
2.3.1	Méthode basée sur une variation linéaire de la courbure ..	210
2.3.2	Méthode basée sur une variation de la courbure identique à celle du moment fléchissant	212
3.	Bâtiments courants	217
3.1	Vérification de la flèche	217
3.2	Vérification des flèches par le calcul	218
3.3	Dispense de la vérification	218
3.3.1	Rapports de base portée sur hauteur utile	218
3.3.2	Corrections des valeurs l/d	224
4.	Prise en compte du retrait et du fluage	225
4.1	Module d'élasticité du béton	225
4.2	Effets du retrait	226
II.	APPLICATIONS	227
	Application n° 1 : poutre sur deux appuis simples – Flèche	227
	–Énoncé–	227
	–Corrigé–	228
	Application n° 2 : flèche d'une dalle de plancher	240
	–Énoncé–	240
	–Corrigé–	241
5	Poinçonnement	245
I.	RAPPELS THÉORIQUES	245
1.	Contours de référence	247
1.1	Définitions	247
1.2	Aire chargée éloignée d'un bord libre	248
1.3	Aire chargée près d'une ouverture	249
1.4	Aire chargée proche de bords libres	249
1.5	Cas des poteaux avec chapiteaux (planchers-dalles)	250
1.5.1	Cas des poteaux circulaires	250
1.5.2	Cas des poteaux rectangulaires	251
2.	Résistances au poinçonnement	253
2.1	Contraintes tangentes résistantes	253
2.1.1	Valeur de calcul de la résistance au poinçonnement d'une dalle ou d'une semelle de poteau sans armatures de poinçonnement	253

2.1.2	Valeur maximale de calcul de la résistance au poinçonnement d'une dalle ou d'une semelle de poteau avec ou sans armatures de poinçonnement	255
2.1.3	Valeur de calcul de la résistance au poinçonnement d'une dalle ou d'une semelle de poteau avec armatures de poinçonnement	255
2.2	Vérification de la valeur maximale de calcul de la résistance au poinçonnement	256
2.2.1	Contrainte maximale de poinçonnement	256
2.2.2	Vérification	263
2.3	Dalles ou semelles de poteaux sans armatures de poinçonnement	264
2.3.1	Contrainte maximale de poinçonnement	264
2.3.2	Vérification	264
2.4	Dalles ou semelles de poteaux avec armatures de poinçonnement	265
2.4.1	Contrainte maximale de poinçonnement	265
2.4.2	Calcul des armatures de poinçonnement	265
2.4.3	Contour de la zone avec armatures de poinçonnement	265
2.4.4	Dispositions constructives	266
2.4.5	Section minimale d'armatures de poinçonnement	267
2.4.6	Barres relevées utilisées comme armatures de poinçonnement	267
II.	APPLICATIONS	269
	Application n° 1 : étude au poinçonnement d'une dalle – Aire chargée circulaire	269
	–Énoncé–	269
	–Corrigé–	269
	Application n° 2 : étude au poinçonnement d'une dalle – Aire chargée rectangulaire	272
	–Énoncé–	272
	–Corrigé–	273
6	Corbeaux	281
I.	RAPPELS THÉORIQUES	281
1.	Définition	281
2.	Vérification de la compression des bielles de béton	283
3.	Armatures	285
3.1	Armatures supérieures tendues	285
3.2	Armatures horizontales de répartition	286
3.3	Armatures verticales	287
3.3.1	Cas où $a_c \leq 0,5 \cdot h_c$	287
3.3.2	Cas où $a_c > 0,5 \cdot h_c$	287
4.	Dispositions constructives	288
II.	APPLICATION	290
	Application : console courte	290
	–Énoncé–	290
	–Corrigé–	291

7	État limite ultime de fatigue	297
	I. RAPPELS THÉORIQUES	297
	1. Introduction	297
	2. Combinaisons d'actions	297
	2.1 Combinaison de base	298
	2.2 Combinaison de base plus action cyclique	298
	3. Calcul des contraintes	299
	4. Vérification pour les armatures	299
	4.1 Vérification explicite de l'endommagement	299
	4.1.1 Principe de la vérification	299
	4.1.2 Caractéristiques de la courbe S-N	300
	4.1.3 Processus de vérification	301
	4.1.4 Remarque	302
	4.2 Cas de cycles multiples d'étendue variable	303
	4.3 Méthode de l'étendue de contrainte équivalente	303
	4.4 Cas particuliers	303
	4.5 Cas des armatures d'âme	304
	4.5.1 Inclinaison des armatures d'âme à prendre en compte	304
	4.5.2 Vérification	305
	5. Vérification pour le béton comprimé	305
	5.1 Éléments pour lesquels aucune armature d'âme n'est requise	305
	5.2 Éléments comportant des armatures d'âme	306
	II. APPLICATION	309
	Application : section rectangulaire sans aciers comprimés	309
	–Énoncé–	309
	–Corrigé–	310
	Annexe	317
	Bibliographie	333
	Index	335