

# TABLE DES MATIÈRES

<b>Avant-propos</b> .....	<b>1</b>
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
<b>Notations et symboles</b> .....	<b>7</b>
1. Majuscules romaines .....	7
2. Minuscules romaines .....	10
3. Majuscules ou minuscules grecques .....	14
<b>I Analyse structurale</b> .....	<b>17</b>
<b>I. RAPPELS THÉORIQUES</b> .....	<b>17</b>
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

<b>3</b> État limite de service de maîtrise de la fissuration .....	<b>161</b>
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
<b>4</b> État limite de service de déformation .....	<b>197</b>
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
<b>5</b>	<b>Poinçonnement .....</b>	<b>245</b>
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
<b>6</b>	<b>Corbeaux .....</b>	<b>281</b>
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

<b>7</b>	<b>État limite ultime de fatigue .....</b>	<b>297</b>
	<b>I. RAPPELS THÉORIQUES .....</b>	<b>297</b>
	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
	<b>II. APPLICATION .....</b>	<b>309</b>
	Application : section rectangulaire sans aciers comprimés .....	309
	–Énoncé– .....	309
	–Corrigé– .....	310
	<b>Annexe .....</b>	<b>317</b>
	<b>Bibliographie .....</b>	<b>333</b>
	<b>Index .....</b>	<b>335</b>