



Jean-Pierre Mouglin

COURS DE BÉTON ARMÉ



B.A.E.L. 91

calcul des
éléments simples
et des
structures
de bâtiments

BERTI Editions

TABLE DES MATIERES

A. INTRODUCTION – GENERALITES	1
I. DOMAINE D'APPLICATION DES REGLES B.A.E.L. 91	1
II. CONSTRUCTIONS EN BETON ARME ET SECURITE.....	2
II,1. Théorie de l'élasticité – calcul aux contraintes admissibles	2
II,2. Théorie de la plasticité – calcul à la rupture.....	2
II,3. Théorie des probabilités – calcul aux états-limites.....	3
III. PRESENTATION DES REGLES B.A.E.L.....	5
III,1. Généralités.....	5
III,2. Intérêt des règlements aux états-limites	6
III,3. Principes et méthodes de vérification des règles B.A.E.L.	7
IV. UNITES ET NOTATIONS	9
IV,1. Unités	9
IV,2. Notations.....	9
B. METHODE DES ETATS-LIMITES	15
I. OBJET DES JUSTIFICATIONS DE CALCUL	15
II. METHODE DES ETATS-LIMITES.....	15
II,1. Actions.....	15
II,2. Sollicitations.....	15
II,3. Définition des états-limites.....	18
III. ACTIONS CARACTERISTIQUES	19
III,1. Actions permanentes	19
III,2. Actions variables.....	19
III,3. Actions accidentelles.....	20
IV. SOLLICITATIONS DE CALCUL.....	20
IV,1. Sollicitations de calcul vis-à-vis des états-limites ultimes de résistance et de stabilité de forme.....	20
IV,2. Etats-limites de service.....	21
C. CARACTERES DES MATERIAUX	23
I. LE BETON	23
I,1. Résistance du béton.....	23
I,2. Résistances caractéristiques des bétons.....	24

I,3. Déformations longitudinales du béton	25
I,4. Coefficient de Poisson.....	25
II. LES ACIERS	26
II,1. Prescriptions générales.....	26
II,2. Diagramme contraintes-déformations	26
II,3. Aciers disponibles	26
 D. JUSTIFICATION DES SECTIONS SOUMISES A DES SOLLICITATIONS NORMALES - REGLES GENERALES	 27
I. INTRODUCTION	27
II. ETAT-LIMITE ULTIME DE RESISTANCE.....	28
II,1. Hypothèses de calcul.....	28
II,2. Diagramme contraintes-déformations du béton.....	28
II,3. Diagramme contraintes-déformations des aciers.....	30
II,4. Diagramme des déformations limites de la section RÈGLE DES TROIS PIVOTS	30
II,5. Cas de la flexion composée avec compression	32
III. ETAT-LIMITE ULTIME DE STABILITE DE FORME.....	33
III,1. Domaine d'application.....	33
III,2. Principe des justifications.....	34
III,3. Sollicitations et hypothèses de calcul.....	34
IV. ETAT-LIMITE DE SERVICE VIS-A-VIS DE LA DURABILITE DE LA STRUCTURE.....	36
IV,1. Hypothèses de calcul.....	36
IV,2. Etat-limite de compression du béton.....	37
IV,3. Etat-limite d'ouverture des fissures.....	37
V. ETAT-LIMITE DE SERVICE VIS-A-VIS DES DEFORMATIONS	41
 E. JUSTIFICATION DES SECTIONS SOUMISES A DES SOLLICITATIONS NORMALES - LA FLEXION SIMPLE	 43
I. DEFINITIONS	43
II. ETAT-LIMITE ULTIME DE RESISTANCE.....	43
II,1. Etat-limite ultime au pivot A	43
II,2. Etat-limite ultime au pivot B.....	44
II,3. Positions particulières de l'axe neutre.....	44
II,4. Conclusions pratiques.....	45
II,5. Equations d'équilibre d'une section.....	46

<i>Organigramme général de la flexion simple</i>	55
III. ETAT-LIMITE DE SERVICE VIS-A-VIS DE LA DURABILITE	60
III,1. Calcul des contraintes à l'état-limite de service.....	60
III,2. Vérification des contraintes à l'état-limite de service.....	61
III,3. Calcul des sections lorsque l'état-limite de service est le plus défavorable.....	62
IV. ETAT-LIMITE DE SERVICE VIS-A-VIS DES DEFORMATIONS	65
F. JUSTIFICATION DES SECTIONS SOUMISES A DES SOLLICITATIONS NORMALES – LA FLEXION COMPOSEE	67
I. DEFINITIONS	67
II. SOLLICITATIONS A CONSIDERER	67
II,1. Sollicitations à l'état-limite ultime	67
II,2. Sollicitations à l'état-limite de service.....	69
III. SECTIONS ENTIEREMENT TENDUES.....	69
III,1. Etat-limite ultime	69
III,2. Etat-limite de service.....	70
IV. FLEXION COMPOSEE AVEC COMPRESSION – JUSTIFICATION A L'ETAT-LIMITE ULTIME	71
IV,1. Définition de l'état-limite ultime.....	71
<i>Organigramme général de la flexion composée</i>	74
IV,2. Sections rectangulaires partiellement comprimées.....	75
IV,3. Sections rectangulaires entièrement comprimées (pivot C).....	76
IV,4. Sections en Té.....	79
V. FLEXION COMPOSEE AVEC COMPRESSION – JUSTIFICATION A L'ETAT-LIMITE DE SERVICE.....	80
V,1. Vérification d'une section rectangulaire partiellement comprimée...	80
V,2. Vérification d'une section en Té partiellement comprimée.....	81
V,3. Vérification d'une section entièrement comprimée	81
V,4. Dimensionnement d'une section rectangulaire partiellement comprimée	82
V,5. Dimensionnement d'une section rectangulaire entièrement comprimée	83
V,6. Dimensionnement d'une section en Té.....	83
VI. LONGUEURS LIBRES – LONGUEURS DE FLAMBEMENT.....	84
VI,1. Rappel sur la théorie du flambement	84
VI,2. Longueur de flambement.....	85
VI,3. Elancement.....	86

G. JUSTIFICATION DES SECTIONS SOUMISES A DES SOLLICITATIONS NORMALES – TRACTION ET COMPRESSION SIMPLES – CALCUL DES POTEAUX 87

I. TRACTION SIMPLE.....	87
I,1. Définition	87
I,2. Condition de non-fragilité.....	87
I,3. Dimensionnement des armatures	87
I,4. Dimensionnement de la section de béton.....	88
II. COMPRESSION SIMPLE, POTEAUX DES BATIMENTS COURANTS	89
II,1. Définition.....	89
II,2. Longueur de flambement et élancement.....	89
II,3. Calcul des sollicitations des poteaux	89
II,4. Combinaisons d'actions à considérer	92
II,5. Dispositions constructives.....	93
II,6. Justification des poteaux.....	93
II,7. Justification des poteaux des ossatures de bâtiments.....	97
II,8. Cas des poteaux préfabriqués	97

H. JUSTIFICATION DES SECTIONS SOUMISES A DES CONTRAINTES TANGENTES – L'EFFORT TRANCHANT 103

I. INTRODUCTION	103
II. BASES DE CALCUL	104
II,1. Poutre sans armatures transversales.....	104
II,2. Poutre avec armatures transversales.....	105
III. RESISTANCES DES AMES – SECTIONS COURANTES.....	106
III,1. Généralités.....	106
III,2. Vérification du béton de l'âme	107
III,3. Vérification des armatures d'âme.....	109
III,4. Vérification des armatures principales	113
III,5. Dimensionnement des âmes	114
<i>Organigramme général de l'effort tranchant</i>	115
III,6. Répartition des armatures transversales.....	116
III,7. Dispositions constructives.....	119
III,8. Arrêt des armatures principales.....	120
III,9. Cas des dalles et poutres-dalles.....	121
III,10. Cas du poinçonnement	124

IV. ZONES D'APPLICATION DES EFFORTS	125
IV,1. Appuis de rive.....	125
IV,2. Appuis intermédiaires.....	126
IV,3. Efforts entraînant la mise en tension de l'âme d'une poutre.....	126
V. ACTIONS TANGENTES – COUTURES D'ATTACHE.....	127
V,1. Règle des coutures	127
V,2. Liaison des membrures d'une poutre avec l'âme.....	128
V,3. Surfaces de reprise.....	129
 I. JUSTIFICATION DES SECTIONS SOUMISES	
A DES CONTRAINTES TANGENTES – LA TORSION.....	131
I. GENERALITES.....	131
II. RESISTANCE A LA TORSION PURE.....	132
II,1. Comportement expérimental.....	132
II,2. Contraintes tangentes de torsion.....	132
III. RESISTANCE EN TORSION ET FLEXION.....	134
 J. JUSTIFICATION DES CONTRAINTES TANGENTES –	
L'ADHERENCE	135
I. CONTRAINTES D'ADHERENCE.....	135
II. ADHERENCE PAR TRANSMISSION DES EFFORTS	
DE GLISSEMENT LONGITUDINAL.....	136
II,1. Périmètres utiles.....	136
II,2. Contrainte d'adhérence limite	136
III. ANCRAGE DES ACIERS EN BARRES	137
III,1. Conditions d'équilibre	137
III,2. Ancrage rectilignes.....	138
III,3. Jonction des ancrages rectilignes.....	139
III,4. Ancrages par courbure des barres tendues	140
 K. LES FONDATIONS	145
I. GENERALITES.....	145
I,1. Définitions	145
I,2. Stabilité des fondations	145
I,3. Différents types de fondations	146
I,4. Pathologie des fondations	146
I,5. Dispositions constructives	146

II. FONDATIONS SUPERFICIELLES – GENERALITES	147
II,1. Dispositions générales	147
II,2. Semelles continues sous murs	148
III. SEMELLES FLEXIBLES PLEINES	151
III,1. Diagramme rectangulaire	151
III,2. Diagramme triangulaire	152
IV. SEMELLES RIGIDES PLEINES	152
IV,1. Diagramme rectangulaire	152
IV,2. Diagramme bitriangulaire	155
IV,3. Influence du frottement sur la base de la semelle	155
IV,4. La semelle "économique"	156
IV,5. Semelles évidées	157
IV,6. Semelles continues de grande hauteur	157
V. SEMELLES CONTINUES SOUS POTEAUX	157
V,1. Description générale	157
V,2. Semelle sous deux poteaux également chargés	159
V,3. Semelle sous deux poteaux inégalement chargés	161
VI. SEMELLE RECTANGULAIRE SOUS POTEAU RECTANGULAIRE SOUMISE A UN EFFORT NORMAL CENTRE	162
VII. SEMELLE CIRCULAIRE SOUS PILIER CIRCULAIRE SOUMISE A UN EFFORT NORMAL CENTRE	163
VII,1. Semelle armée par des nappes de barres orthogonales	164
VII,2. Semelle armée par des cerces	165
VIII. SEMELLES SUR PIEUX	166
VIII,1. Semelle sur deux pieux soumise à un effort normal centré	166
VIII,2. Semelle sur quatre pieux soumise à un effort normal centré	167
IX. SEMELLES SOUMISES A UN EFFORT NORMAL ET A UN MOMENT DE FLEXION	168
IX,1. Diagramme des contraintes pour une semelle reposant sur le sol	169
IX,2. Armatures d'une semelle reposant sur le sol	170
IX,3. Semelle continue sous mur	171
IX,4. Semelle rectangulaire sous poteau rectangulaire	171
IX,5. Semelle et poteau circulaires	172
IX,6. Semelle sur deux pieux	172
IX,7. Semelle sur quatre pieux	172
X. SEMELLES SUR PIEUX – METHODE DE FREMY	173
X,1. Hypothèses et buts de l'étude	174
X,2. Etude générale d'une semelle à n pieux	174
X,3. Semelle sur deux pieux sous charge centrée P	175

V. PREDALLES.....	206
V,1. Définition	206
V,2. Epaisseur minimale	206
V,3. Justifications.....	206
VI. PLANCHERS A POUTRELLES PREFABRIQUEES.....	208
VI,1. Règles générales.....	209
VI,2. Règles particulières à certains planchers avec hourdis sur entrevous de terre cuite ou béton	210
VII. PLANCHERS-CHAMPIGNONS – PLANCHERS-DALLES	212
VIII. CALCUL DES FLECHES	213
VIII,1. Evaluation des flèches.....	213
VIII,2. Valeur limites des flèches.....	215
VIII,3. Calcul pratique des flèches.....	215
M. OSSATURES PAR REFENDS.....	221
I. GENERALITES.....	221
II. DISTRIBUTION DES CHARGES	221
II,1. Distribution des charges verticales	221
II,2. Distribution des charges horizontales.....	222
<i>a) Cas des structures avec des refends pleins.....</i>	<i>222</i>
<i>b) Cas des structures avec des refends présentant des files d'ouvertures ..</i>	<i>226</i>
III. EVALUATION DES SOLLICITATIONS DANS LES REFENDS.....	229
III,1. Cas des refends sans ouvertures.....	229
III,2. Refends avec une file d'ouvertures.....	229
III,3. Refends avec plusieurs files d'ouvertures	232
IV. CALCUL DES MURS EN BETON BANCHE D'APRES LE D.T.U. N° 23.1	233
IV,1. Généralités	233
<i>a) Domaine d'application.....</i>	<i>233</i>
<i>b) Aciers d'armatures.....</i>	<i>234</i>
IV,2. Dispositions constructives minimales.....	234
IV,3. Justification de la résistance.....	237
<i>a) Caractéristiques géométriques et mécaniques.....</i>	<i>237</i>
<i>b) Effort normal limite-ultime et contrainte limite-ultime.....</i>	<i>238</i>
<i>c) Principes de la justification</i>	<i>240</i>
<i>d) Armatures minimales</i>	<i>241</i>
<i>e) Justification sous contrainte tangente dans le plan du mur</i>	<i>242</i>

N. DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES DIVERSES	243
PROTECTION DES ARMATURES.....	243
POSSIBILITES DE BETONNAGE CORRECT.....	244
REPRISE DE BETONNAGE.....	246
POUSSEES AU VIDE.....	247
ELEMENTS COMPRIMES.....	248
Généralités.....	248
Armatures longitudinales.....	248
Armatures transversales.....	249
ARMATURES DES POUTRES.....	250
PRESSIONS LOCALISEES — FRETTAGE — ARTICULATIONS.....	250
Pressions localisées.....	251
Frettage.....	252
Articulations en béton.....	253
JUSTIFICATION PAR L'EXPERIMENTATION.....	255

ANNEXES

ANNEXE I :

REGLES TRANSITOIRES RELATIVES A LA DEFINITION DES VALEURS REPRESENTATIVES DES ACTIONS ET DES COMBINAISONS D'ACTIONS DANS LES CAS COURANTS.....	256
Actions variables courantes dans le domaine des bâtiments.....	256
Combinaisons d'actions.....	258

ANNEXE II :

RESUME DES PRINCIPALES DISPOSITIONS CONCERNANT LES ARMATURES LONGITUDINALES DANS LES POUTRES, TIRANTS ET POTEAUX.....	260
--	-----

ANNEXE III :

EQUATIONS DES COURBES DE TRAVAIL.....	262
---------------------------------------	-----

ANNEXE IV :

COURBES $\alpha = f(u)$ EN FLEXION SIMPLE A L'E.L.S.....	263
--	-----

ANNEXE V :

CHARGES — SURCHARGES — DESCENTES DE CHARGES.....	264
--	-----

ANNEXES VI ET VII :

SECTIONS REELLES D'ARMATURES.....	267
-----------------------------------	-----