

Table des matières

Introduction	1
Chapitre 1. Rappel de résistance des matériaux	7
1.1. La compression et la traction	9
1.2. La flexion pure	11
1.3. Les sollicitations à l'effort tranchant	13
1.4. La torsion	14
1.4.1. Section circulaire	14
1.4.2. Application à un cercle	15
1.4.3. Section rectangulaire	15
1.5. La théorie des coques sphériques	16
1.6. La théorie des coques cylindriques	18
Chapitre 2. Le matériau béton	19
2.1. Historique	19
2.2. La composition du béton	25
2.2.1. Le ciment	25
2.2.2. Les granulats	26
2.2.3. L'eau de gâchage	26
2.2.4. Les adjuvants	26
2.2.5. Les caractéristiques mécaniques du béton	27

Chapitre 3. L’Instruction ministérielle du 20 octobre 1906 relative à l’emploi du béton armé	31
3.1. Généralités	31
3.2. Bases de calcul : exigences	32
3.2.1. Exigences de base.	32
3.2.2. Durée d’utilisation de projet.	32
3.2.3. Effets thermiques	33
3.2.4. Tassements et mouvements différentiels	33
3.2.5. Propriétés des matériaux.	33
3.3. Matériaux	33
3.3.1. Béton	33
3.3.2. Aciers de béton armé	35
3.4. Durabilité et enrobage des armatures.	36
3.4.1. Généralités	36
3.4.2. Exigence de durabilité	37
3.4.3. Enrobage	37
3.5. Analyse structurale	38
3.5.1. Généralités	38
3.5.2. Cas de charges et combinaisons	38
3.5.3. Effets du second ordre	38
3.5.4. Modélisation de la structure.	38
3.6. Calcul des ouvrages	39
3.6.1. Compression simple	39
3.6.2. Compression avec flexion	39
3.6.3. Flexion	40
3.6.4. Le flambement.	41
3.6.5. Exemple de dimensionnement	42
3.7. Dispositions constructives	45
3.7.1. Coulage du béton	45
3.7.2. Distance entre armatures et entre armatures et coffrage	46
3.7.3. Traitement des reprises de bétonnage	46
3.7.4. Cure du béton	46
 Chapitre 4. La note technique de janvier 1913 relative au calcul des ouvrages en ciment armé	 49
4.1. Généralités	49
4.2. Bases de calcul.	49

4.3. Matériaux	50
4.3.1. Béton	50
4.3.2. Aciers de béton armé	50
4.4. Durabilité et enrobage des armatures	51
4.5. Analyse structurale	51
4.6. Calcul des ouvrages	51
4.6.1. Compression simple	51
4.6.2. Flexion	52
4.7. Exemples de réalisation	56
4.7.1. Réservoir de 1927	56
4.7.2. Réservoirs de 1928	61
4.7.3. La « pierre armée Pauchot »	74
4.7.4. Hangar pour deux dirigeables à Luçon (Vendée)	76

Chapitre 5. L’Instruction ministérielle du 19 juillet 1934 relative à l’emploi du béton armé

5.1. Généralités	79
5.2. Bases de calcul : exigences	81
5.2.1. Exigences de base	81
5.2.2. Durée d’utilisation de projet	81
5.2.3. Effets thermiques	81
5.2.4. Tassements et mouvements différentiels	81
5.2.5. Propriétés des matériaux	81
5.3. Matériaux	82
5.3.1. Béton	82
5.3.2. Aciers de béton armé	83
5.4. Durabilité et enrobage des armatures	85
5.4.1. Généralités	85
5.4.2. Exigence de durabilité	85
5.4.3. Enrobage	85
5.5. Analyse structurale	85
5.5.1. Généralités	85
5.5.2. Cas de charge et combinaisons	86
5.5.3. Effets du second ordre	86
5.5.4. Modélisation de la structure	86
5.6. Calcul des ouvrages	87
5.6.1. Compression simple	87
5.6.2. Compression avec flexion	87
5.6.3. Flexion	88

5.6.4. Le flambement	88
5.6.5. Exemple de dimensionnement en compression simple	89
5.7. Dispositions constructives	90
5.7.1. Coulage du béton	90
5.7.2. Distance entre armatures et entre armatures et coffrage	90
5.7.3. Traitement des reprises de bétonnage	91
5.7.4. Note n° 1 : annexe II	91
5.7.5. Note n° 2 : règlement sur les constructions en béton armé (émanant de la Chambre syndicale en janvier 1930)	92
5.8. Commentaires	94
5.8.1. Commentaires généraux	94
5.8.2. Comparaison entre le règlement de 1906 et celui de 1934	97
5.8.3. Données pratiques	99
5.8.4. Exemple des hangars Boussiron	101

Chapitre 6. Les règles BA 45 111

6.1. Généralités	111
6.2. Bases de calcul : exigences	112
6.2.1. Exigences de base	112
6.2.2. Durée d'utilisation de projet	112
6.2.3. Effets thermiques	112
6.2.4. Tassements et mouvements différentiels	113
6.3. Matériaux	113
6.3.1. Béton	113
6.3.2. Aciers de béton armé	114
6.4. Durabilité et enrobage des armatures	116
6.4.1. Généralités	116
6.4.2. Exigence de durabilité	116
6.4.3. Enrobage	116
6.5. Analyse structurale	116
6.5.1. Généralités	116
6.5.2. Cas de charge et combinaisons	117
6.5.3. Effets du second ordre	117
6.5.4. Modélisation de la structure	117
6.6. Calcul des ouvrages	117
6.6.1. Compression simple	117
6.6.2. Compression avec flexion	118
6.6.3. Flexion	119
6.6.4. Le flambement	122

6.7. Dispositions constructives	124
6.7.1. Coulage du béton	124
6.7.2. Distance entre armatures et entre armatures et coffrage	124
6.7.3. Traitement des reprises de bétonnage	124
6.7.4. Cure du béton	125
6.7.5. Essais de contrôle des bétons	125
6.8. Application au calcul des réservoirs circulaires	125
6.8.1. Calcul des armatures principales	125
6.8.2. Calcul des armatures de répartition	126
6.8.3. Calcul des épaisseurs de parois béton	127
6.8.4. Étude de la coupole de couverture	129
6.8.5. Étude de la paroi verticale	130
6.8.6. Étude du tronc de cône	131
6.8.7. Étude de la coupole de fond	133
6.9. Considérations pratiques sur la conception des réservoirs d'après les règles de 1945	136
6.9.1. Compartimentage de la cuve	136
6.9.2. La couverture du réservoir	137
6.9.3. Les parois verticales extérieures de cuve	137
6.9.4. Les parois verticales intérieures de cuve	137
6.9.5. Coupole de fond	137
6.9.6. Support de cuve	138
6.9.7. Recommandations générales	139
6.10. Considérations pratiques sur la conception des silos d'après les règles de 1945	140
6.10.1. Généralités	140
6.10.2. Formules retenues par la commission de 1943	143
6.10.3. Suppression dans les cellules lors des vidanges	145
6.10.4. Exemple de dimensionnement d'une cellule carrée en béton armé selon les formules précédentes	147

Chapitre 7. Les règles BA 60 (modifiées en 1964). 149

7.1. Généralités	149
7.2. Bases de calcul : exigences	150
7.2.1. Exigences de base	150
7.2.2. Durée d'utilisation de projet	150
7.2.3. Effets thermiques	150
7.2.4. Tassements et mouvements différentiels	151

7.3. Matériaux	151
7.3.1. Béton	151
7.3.2. Aciers de béton armé	154
7.4. Durabilité et enrobage des armatures	156
7.4.1. Généralités	156
7.4.2. Exigence de durabilité	156
7.4.3. Enrobage	157
7.5. Analyse structurale	157
7.5.1. Généralités	157
7.5.2. Cas de charge et combinaisons	157
7.5.3. Effets du second ordre	158
7.5.4. Modélisation de la structure	158
7.6. Calcul des ouvrages	158
7.6.1. Compression simple	158
7.6.2. Flexion – compression avec flexion	158
7.6.3. La traction	161
7.6.4. Le flambement	161
7.6.5. Le poinçonnement	163
7.6.6. La torsion	164
7.7. Dispositions constructives	166
7.7.1. Coulage du béton	166
7.7.2. Distance entre armatures et entre armatures et coffrage	167
7.7.3. Traitement des reprises de bétonnage	167
7.7.4. Cure du béton	167
7.7.5. Essais de contrôle des bétons	167
7.7.6. Dispositions constructives des armatures	167
7.8. Application au calcul des réservoirs	171
7.8.1. Réservoirs à parois planes	171
7.8.2. Réservoirs circulaires	173
7.9. Modification de 1964 (circulaire n° 70 du 14 novembre 1964)	176
7.10. Réservoirs : cahier des charges de la CSNCCABP de 1966	179
7.10.1. Classement des ouvrages pour le critère d'étanchéité	179
7.10.2. Composition des bétons et classe d'exposition	179
7.10.3. Note sur la justification des cuves avec le BA 60	179
7.10.4. Dispositions constructives minimales	181
7.11. Comparaison entre le fascicule 61 et les règles BA 60	181

Chapitre 8. Les règles CCBA 68 185

8.1. Généralités	185
8.2. Bases de calcul : exigences	186

8.2.1. Exigences de base	186
8.2.2. Durée d'utilisation de projet.	187
8.2.3. Effets thermiques	187
8.2.4. Tassements et mouvements différentiels	187
8.2.5. Propriétés des matériaux.	187
8.3. Matériaux	188
8.3.1. Béton	188
8.3.2. Aciers de béton armé	191
8.4. Durabilité et enrobage des armatures.	194
8.4.1. Généralités	194
8.4.2. Exigence de durabilité	194
8.4.3. Enrobage	194
8.5. Analyse structurale	194
8.5.1. Généralités	194
8.5.2. Cas de charge et combinaisons	196
8.5.3. Effets du second ordre	197
8.5.4. Modélisation de la structure.	197
8.6. Calcul des ouvrages	197
8.6.1. Compression simple	197
8.6.2. Flexion – compression avec flexion	199
8.6.3. La traction	201
8.6.4. Le poinçonnement	201
8.6.5. Le flambement.	202
8.7. Dispositions constructives	203
8.7.1. Coulage du béton	203
8.7.2. Distance entre armatures et entre armatures et coffrage	203
8.7.3. Traitement des reprises de bétonnage	204
8.7.4. Cure du béton	204
8.8. Comparaison entre le règlement de 1960 (révisé en 1964) et celui de 1968 (révisé en 1970).	204
8.9. Exemple de calcul d'un réservoir enterré	206
8.9.1. Réservoir plein	209
8.9.2. Réservoir vide	210
8.10. Règles parasismiques de 1969	211
8.10.1. Généralités	211
8.10.2. Principes de la conception parasismique.	213
8.10.3. Règles particulières aux ouvrages en béton armé	214
8.10.4. Principe de calcul des ouvrages en béton armé.	214
8.10.5. Méthodes de calcul des structures	216

8.11. Cas particuliers des silos	221
8.11.1. Généralités	221
8.11.2. Détermination des actions sur les parois verticales et le fond d'un silo	225
8.11.3. Détermination des actions nominales sur les parois verticales et le fond d'un silo à vidange normale	226
8.11.4. Détermination des actions nominales sur les parois verticales et le fond d'un silo à vidange anormale	227
8.11.5. Prescriptions particulières aux ouvrages en béton armé.	231
8.11.6. Exemple de dimensionnement d'un silo en béton armé.	233

Chapitre 9. Les règles BAEL 80 239

9.1. Généralités	239
9.2. Bases de calcul : exigences	242
9.2.1. Exigences de base.	242
9.2.2. Durée d'utilisation de projet.	243
9.2.3. Effets thermiques	243
9.2.4. Tassements différentiels	244
9.2.5. Propriétés des matériaux.	245
9.3. Matériaux	245
9.3.1. Béton	245
9.3.2. Aciers de béton armé	247
9.4. Durabilité et enrobage des armatures.	249
9.4.1. Généralités	249
9.4.2. Exigences de durabilité	250
9.4.3. Enrobages	250
9.5. Analyse structurale	251
9.5.1. Généralités	251
9.5.2. Cas de charges et combinaisons	252
9.5.3. Effets du second ordre	254
9.5.4. Modélisation de la structure.	254
9.6. Calcul des ouvrages	254
9.6.1. Compression simple	254
9.6.2. Compression avec flexion	256
9.6.3. Flexion	256
9.6.4. Le flambement.	260
9.6.5. Les justifications vis-à-vis des sollicitations tangentes	260
9.7. Dispositions constructives	262
9.7.1. Coulage du béton	262

9.7.2. Distance entre armatures et entre armatures et coffrage	262
9.7.3. Reprise de bétonnage.	263
9.7.4. Poussée au vide	263
9.7.5. Dispositions particulières des éléments comprimés	263
9.7.6. Dalles sur appuis continus.	264
9.8. Cas particulier des réservoirs : fascicule 74 de 1983.	265
9.8.1. Classement des ouvrages pour le critère d'étanchéité.	265
9.8.2. Dispositions constructives.	266
9.8.3. Les actions	266
9.9. Cas particulier des réservoirs : fascicule 74 de 1998.	268
9.9.1. Classement des ouvrages pour le critère d'étanchéité.	268
9.9.2. Dispositions constructives.	269
9.9.3. Prescriptions relatives aux radiers et fonds de réservoirs reposant directement sur le sol	270
9.9.4. Dispositions particulières aux coupoles	270
9.9.5. Actions	271
9.9.6. Dispositions spécifiques	272
9.10. Cas particulier des silos : règles professionnelles de 1986	273
9.10.1. Combinaisons d'actions	273
9.10.2. Justification des sections	274
9.10.3. Magasins de stockage et silos réservoirs.	275
9.11. Les règles parasismiques 1969 révisées en 1982	277
9.12. Les modifications de 1991 aux règles BAEL 1983.	278
9.13. Les modifications de 1995 aux règles PS	286
9.13.1. Dispositions communes aux poutres et poteaux	292
9.13.2. Dispositions spécifiques aux éléments fléchis	292
9.13.3. Dispositions spécifiques aux éléments comprimés.	293
9.13.4. Dispositions spécifiques aux nœuds	294
9.13.5. Dispositions spécifiques aux voiles de contreventement	294
9.13.6. Dispositions spécifiques aux dalles et diaphragmes	295
9.13.7. Coefficient de comportement	295
9.13.8. Vérification de sécurité.	296

Chapitre 10. Les codes normatifs européens, américains et russes

297

10.1. Les codes européens (Eurocodes)	297
10.1.1. Généralités	297
10.1.2. Les bases de calcul des Eurocodes	298
10.1.3. L'analyse structurale	304
10.1.4. La maîtrise de la fissuration	304

10.2. Le code américain ACI 318 M-19.	305
10.2.1. Généralités	305
10.2.2. Bases de calcul : exigences	306
10.2.3. Matériaux	307
10.2.4. Durabilité et enrobage des armatures.	308
10.2.5. Analyse structurale	313
10.2.6. Calcul des ouvrages	315
10.2.7. Dispositions constructives	320
10.3. La norme russe SP63.13330.2018.	323
10.3.1. Généralités	323
10.3.2. Bases de calcul.	323
10.3.3. Exigences	324
10.3.4. Durée d'utilisation de projet.	325
10.3.5. Effets thermiques	325
10.3.6. Tassements et mouvements différentiels	325
10.3.7. Matériaux	325
10.3.8. Durabilité et enrobage des armatures.	328
10.3.9. Analyse structurale	331
10.3.10. Calcul des ouvrages	334
10.3.11. Dispositions constructives : norme SP70.13330.2012.	337

Annexe 1. Caractéristiques des aciers utilisés dans les différents règlements	339
--	------------

Annexe 2. Caractéristiques des bétons utilisés dans les différents règlements	343
--	------------

Annexe 3. Exemple de calculs selon les différents règlements. . .	345
--	------------

Bibliographie	351
--------------------------------	------------

Index	353
------------------------	------------