



# TABLE DES MATIÈRES

Préface .....	3
Auteurs, coordination et suivi .....	5
<b>Chapitre I - LE BÉTON, UN MATÉRIAU DE CONSTRUCTION AUX MULTIPLES FACETTES .....</b>	<b>11</b>
<b>1 Introduction .....</b>	<b>11</b>
<b>2 Matériau béton .....</b>	<b>11</b>
<b>3 Histoire du béton en tant que matériau de construction .....</b>	<b>12</b>
3.1 Le béton en tant que matériau de remplissage.....	12
3.2 Béton armé - de l'arc à la poutre.....	16
3.3 Béton précontraint : reculer les limites .....	18
<b>4 Les développements de la technologie du béton.....</b>	<b>20</b>
4.1 La composition du béton .....	20
4.2 Production et mise en œuvre .....	23
4.3 Normalisation et certification.....	26
<b>5 Aspects environnementaux .....</b>	<b>27</b>
<b>6 Conclusion .....</b>	<b>28</b>
<b>Chapitre II - CONSTITUANTS DU BÉTON .....</b>	<b>29</b>
<b>Chapitre II.1 - CIMENT .....</b>	<b>29</b>
<b>1 Définition.....</b>	<b>29</b>
<b>2 Historique .....</b>	<b>29</b>
2.1 Ciment naturel.....	29
2.2 Ciment artificiel .....	30
2.3 Le ciment en Belgique, en quelques chiffres.....	31
<b>3 Les constituants du ciment .....</b>	<b>32</b>
3.1 Le clinker Portland.....	32
3.1.1 Définition.....	32
3.1.2 Matières premières de base.....	33
3.1.3 Processus de fabrication .....	35
3.1.4 Composition chimique et minéralogique du clinker.....	38
3.2 Le laitier granulé de haut fourneau .....	39
3.2.1 Définition.....	39
3.2.2 Matières premières de base et processus de fabrication.....	40
3.2.3 Composition chimique du laitier .....	41
3.2.4 Composition minéralogique du laitier et réactions d'hydratation .....	42



3.3	Les cendres volantes.....	42
3.3.1	Définition.....	42
3.3.2	Composition chimique.....	42
3.4	Le calcaire .....	44
3.5	Autres constituants principaux.....	45
3.6	Constituants secondaires.....	45
3.7	Additifs.....	45
3.8	Sulfate de calcium.....	46
<b>4</b>	<b>Production du ciment par dosage et mouture des constituants .....</b>	<b>46</b>
4.1	Dosage des constituants : types de ciments selon leur composition .....	47
4.2	Processus de mouture avec le broyeur à boulets.....	49
4.3	Processus de mouture avec la presse à rouleaux.....	50
4.4	Le séparateur .....	50
4.5	Stockage et expédition du ciment .....	51
<b>5</b>	<b>Les réactions d'hydratation des ciments.....</b>	<b>52</b>
5.1	L'hydratation.....	52
5.2	Le rôle du régulateur de prise.....	55
<b>6</b>	<b>Exigences de la norme NBN EN 197-1 .....</b>	<b>56</b>
6.1	Exigences mécaniques .....	56
6.1.1	La résistance à la compression courante .....	56
6.1.2	Résistance à la compression à court terme.....	56
6.2	Exigences physiques .....	57
6.3	Exigences chimiques .....	58
6.3.1	Teneur en sulfates et en chlorures .....	58
6.3.2	Perte au feu et résidu insoluble.....	58
6.4	Exigences de durabilité.....	58
<b>7</b>	<b>Contrôle du ciment .....</b>	<b>59</b>
7.1	Principaux essais.....	59
7.1.1	Détermination de la résistance mécanique (NBN EN 196-1).....	59
7.1.2	Détermination du temps de prise et de la stabilité (NBN EN 196-3).....	59
7.1.3	Détermination de la finesse et de la masse volumique.....	61
7.1.4	Détermination de la chaleur d'hydratation.....	62
7.1.5	Analyse chimique .....	63
7.2	Marquage CE et certification règlementaire .....	63
7.3	Certification volontaire .....	64
<b>8</b>	<b>Caractéristiques optionnelles.....</b>	<b>64</b>
8.1	Ciment à faible chaleur d'hydratation (LH) selon la norme NBN EN 197-1 ..	64
8.2	Ciment résistant aux sulfates (SR) selon la norme NBN EN 197-1 et ciment à haute résistance aux sulfates selon la norme NBN B 12-108 .....	65



8.2.1	<i>Ciments courants résistants aux sulfates selon la NBN EN 197-1</i> .....	65
8.2.2	<i>Ciment à haute résistance aux sulfates selon la NBN B 12-108</i> .....	66
8.3	Ciments à teneur limitée en alcalis (LA) selon la norme NBN B 12-109 .....	67
8.4	Ciment Portland à haute résistance initiale (HES) selon la norme NBN B 12-110 .....	68
<b>9</b>	<b>Ciments spéciaux</b> .....	<b>69</b>
9.1	Ciment blanc.....	69
9.2	Ciment alumineux.....	69
9.3	Ciment sursulfaté .....	70
9.4	Autres ciments spéciaux.....	70
<b>10</b>	<b>Choix des ciments</b> .....	<b>71</b>
10.1	Désignation suivant les normes.....	71
10.2	Choix des ciments en fonction de l'application .....	71
<b>11</b>	<b>Aspects liés à l'environnement</b> .....	<b>73</b>
<b>12</b>	<b>Aspects liés à la santé et la sécurité</b> .....	<b>74</b>
<b>13</b>	<b>Bibliographie</b> .....	<b>75</b>
<b>Chapitre II.2 - GRANULATS</b> .....		<b>79</b>
<b>1</b>	<b>Introduction</b> .....	<b>79</b>
<b>2</b>	<b>Origine des granulats</b> .....	<b>79</b>
2.1	Granulats naturels .....	80
2.1.1	<i>Sable et gravier naturels</i> .....	80
2.1.2	<i>Calcaire</i> .....	82
2.1.3	<i>Grès</i> .....	83
2.1.4	<i>Porphyre</i> .....	84
2.1.5	<i>Autres granulats naturels</i> .....	84
2.2	Granulats artificiels.....	84
2.3	Granulats recyclés .....	85
2.4	Granulats récupérés .....	86
<b>3</b>	<b>Propriétés géométriques des granulats</b> .....	<b>87</b>
3.1	Classe granulaire.....	87
3.2	Granularité.....	88
3.3	Fines.....	91
3.4	Forme .....	91
3.4.1	<i>Gros granulats</i> .....	92
3.4.1.1	<i>Teneur en granulats ronds/concassés</i> .....	92
3.4.1.2	<i>Teneur en granulats plats</i> .....	92
3.4.2	<i>Sable</i> .....	93
3.5	Teneur en éléments coquilliers .....	93



<b>4 Propriétés mécaniques et physiques des granulats.....</b>	<b>94</b>
4.1 Résistance à la fragmentation .....	94
4.2 Résistance à l'usure .....	95
4.3 Résistance au polissage .....	95
4.4 Masse volumique.....	96
4.5 Absorption et teneur en eau .....	97
<b>5 Propriétés chimiques des granulats.....</b>	<b>98</b>
<b>6 durabilité des granulats .....</b>	<b>99</b>
6.1 Résistance au gel-dégel .....	99
6.2 Réactivité alcali-silice .....	99
<b>7 Exigences imposées aux granulats.....</b>	<b>99</b>
7.1 Généralités.....	99
7.2 Granulats recyclés.....	101
7.3 Granulats artificiels.....	102
<b>8 Identification .....</b>	<b>102</b>
<b>9 Certification.....</b>	<b>104</b>
<b>10 Bibliographie .....</b>	<b>104</b>
<b>Chapitre II.3 - EAU.....</b>	<b>107</b>
<b>1 Introduction .....</b>	<b>107</b>
<b>2 L'eau et le rapport E/C.....</b>	<b>107</b>
2.1 Quantité d'eau totale $E_T$ .....	108
2.2 Quantités d'eau efficace $E_{eff}$ et d'eau absorbée $E_{abs}$ .....	108
2.3 Eau originaire des granulats, des additions et des adjuvants.....	108
2.3.1 Eau originaire des granulats ( $E_{gran}$ ) .....	108
2.3.2 Eau originaire des additions ( $E_{add}$ ).....	110
2.3.3 Eau originaire des adjuvants ( $E_{adj}$ ).....	110
2.4 Eau ajoutée – eau de gâchage pour le béton .....	110
<b>3 Rôles de l'eau .....</b>	<b>111</b>
<b>4 Qualités requises pour l'eau.....</b>	<b>112</b>
4.1 Types d'eau.....	112
4.2 Echantillonnage .....	114
4.3 Essais et exigences.....	114
<b>5 Influence de la température de l'eau.....</b>	<b>117</b>
<b>6 Bibliographie .....</b>	<b>118</b>
<b>Chapitre II.4 - ADJUVANTS .....</b>	<b>119</b>
<b>1 Introduction .....</b>	<b>119</b>
1.1 Définition .....	119
1.2 Instructions de conservation et de sécurité .....	120



<b>2</b>	<b>Plastifiants/réducteurs d'eau</b>	<b>121</b>
2.1	Définition	121
2.2	Composition	121
2.3	Mode d'action	121
2.4	Effets sur le béton frais et le béton durci	122
2.5	Exigences	123
2.6	Facteurs d'influence	123
2.7	Domaines d'application	123
<b>3</b>	<b>Superplastifiants/hauts réducteurs d'eau</b>	<b>124</b>
3.1	Définition	124
3.2	Composition	124
3.3	Mode d'action	125
3.4	Effets sur le béton frais et le béton durci	126
3.5	Exigences	127
3.6	Facteurs d'influence	128
3.7	Domaines d'application	129
<b>4</b>	<b>Entraîneurs d'air</b>	<b>129</b>
4.1	Définition	129
4.2	Composition	130
4.3	Mode d'action	130
4.4	Effets sur le béton frais et le béton durci	131
4.5	Exigences	132
4.6	Facteurs d'influence	132
4.7	Domaines d'application	134
<b>5</b>	<b>Retardateurs de prise</b>	<b>134</b>
5.1	Définition	134
5.2	Composition	134
5.3	Mode d'action	134
5.4	Effets sur le béton frais et le béton durci	135
5.5	Exigences	136
5.6	Facteurs d'influence	136
5.7	Domaines d'application	136
<b>6</b>	<b>Accélérateurs de prise et de durcissement</b>	<b>137</b>
6.1	Définition	137
6.2	Composition	137
6.3	Mode d'action	137
6.4	Effets sur le béton frais et le béton durci	138
6.5	Exigences	138
6.6	Facteurs d'influence	138



---

6.7 Domaines d'application .....	139
<b>7 Adjuvants rétenteurs d'eau.....</b>	<b>139</b>
7.1 Définition .....	139
7.2 Composition.....	139
7.3 Mode d'action.....	139
7.4 Effets sur le béton frais et le béton durci .....	140
7.5 Exigences .....	140
7.6 Facteurs d'influence.....	140
7.7 Domaines d'application .....	141
<b>8 Hydrofuges de masse.....</b>	<b>141</b>
8.1 Définition .....	141
8.2 Composition.....	141
8.3 Mode d'action.....	141
8.4 Effets sur le béton frais et le béton durci .....	142
8.5 Exigences .....	142
8.6 Facteurs d'influence.....	142
8.7 Domaines d'application .....	143
<b>9 Adjuvants modificateurs de viscosité .....</b>	<b>143</b>
9.1 Définition .....	143
9.2 Composition.....	143
9.3 Mode d'action.....	143
9.4 Effets sur le béton frais et le béton durci .....	144
9.5 Exigences .....	144
9.6 Facteurs d'influence.....	144
9.7 Domaines d'application .....	145
<b>10 Adjuvants non décrits dans la norme NBN EN 934-2 .....</b>	<b>145</b>
10.1 Agents moussants.....	145
10.2 Adjuvants compensateurs de retrait .....	145
10.3 Adjuvants aérateurs.....	146
10.4 Adjuvants pour béton colloïdal.....	147
<b>11 Bibliographie .....</b>	<b>148</b>
<b>Chapitre II.5 - ADDITIONS DE TYPE I ET II .....</b>	<b>151</b>
<b>Chapitre II.5.1 - ADDITIONS.....</b>	<b>151</b>
<b>1 Introduction .....</b>	<b>151</b>
<b>2 Additions de type I.....</b>	<b>152</b>
2.1 Fillers.....	152
2.2 Pigments .....	153
<b>3 Additions de type II.....</b>	<b>154</b>



3.1	Cendres volantes .....	154
3.1.1	Définition.....	154
3.1.2	Origine et production.....	155
3.1.3	Composition chimique.....	156
3.1.4	Caractéristiques physiques.....	157
3.1.5	Activité pouzzolanique .....	158
3.1.6	Application dans le béton.....	158
3.2	Laitier granulé de haut-fourneau moulu .....	159
3.2.1	Définition.....	159
3.2.2	Origine et production .....	159
3.2.3	Composition chimique.....	160
3.2.4	Caractéristiques physiques.....	160
3.2.5	Activité hydraulique latente.....	161
3.2.6	Application dans le béton.....	162
3.3	Fumée de silice .....	162
3.3.1	Définition.....	162
3.3.2	Origine et production .....	163
3.3.3	Composition chimique.....	163
3.3.4	Caractéristiques physiques.....	164
3.3.5	Activité pouzzolanique .....	165
3.3.6	Application dans le béton.....	165
<b>4</b>	<b>Utilisation d'additions dans le béton .....</b>	<b>167</b>
4.1	Introduction.....	167
4.2	Principe du concept du coefficient k .....	167
4.3	Concept du coefficient k pour les cendres volantes conformes à la norme NBN EN 450-1 .....	168
4.4	Concept du coefficient k pour la fumée de silice de classe 1 conforme à la norme NBN EN 13263-1.....	169
4.5	Concept du coefficient k pour le laitier granulé de haut-fourneau moulu conforme à l'ATG 'Laitier moulu de haut-fourneau- LMA' .....	170
4.6	Exemple de calcul avec le coefficient k .....	170
4.7	Concept de performance équivalente du béton .....	171
4.8	Concept de performance équivalente des combinaisons .....	173
<b>5</b>	<b>Bibliographie.....</b>	<b>173</b>
<b>Chapitre II.5.2 - PIGMENTS .....</b>		<b>175</b>
<b>1</b>	<b>Colorant et pigment .....</b>	<b>175</b>
<b>2</b>	<b>Exigences pour colorer un béton.....</b>	<b>176</b>
<b>3</b>	<b>Types de pigments .....</b>	<b>177</b>



<b>4</b>	<b>Présentation et utilisation des pigments .....</b>	<b>178</b>
<b>5</b>	<b>Bibliographie .....</b>	<b>182</b>
	<b>Chapitre II.6 - FIBRES.....</b>	<b>185</b>
<b>1</b>	<b>Introduction .....</b>	<b>185</b>
<b>2</b>	<b>Types de fibre .....</b>	<b>185</b>
<b>3</b>	<b>Utilisation du béton fibré.....</b>	<b>187</b>
3.1	Avantages en phase plastique .....	187
3.2	Avantages en phase de durcissement .....	188
3.3	Inconvénients du béton fibré .....	188
3.4	Applications du béton fibré .....	189
<b>4</b>	<b>Normes.....</b>	<b>189</b>
<b>5</b>	<b>Bibliographie .....</b>	<b>190</b>
	<b>Chapitre III - BÉTON FRAIS ET EN PHASE DE DURCISSEMENT .....</b>	<b>191</b>
<b>1</b>	<b>Introduction .....</b>	<b>191</b>
<b>2</b>	<b>Le processus d'hydratation .....</b>	<b>191</b>
2.1	Généralités.....	191
2.2	Réactions chimiques .....	191
2.2.1	<i>Ciment Portland .....</i>	<i>192</i>
2.2.2	<i>Ciment de haut fourneau ou laitier de haut fourneau comme addition .....</i>	<i>193</i>
2.2.3	<i>Additions pouzzolaniques.....</i>	<i>193</i>
2.3	Chaleur d'hydratation.....	194
2.4	Degré d'hydratation.....	195
2.5	Relation entre la formation de la microstructure et les macropropriétés .....	197
2.6	L'importance du rapport eau/ciment .....	199
<b>3</b>	<b>Béton frais.....</b>	<b>200</b>
3.1	Consistance.....	200
3.1.1	<i>Généralités .....</i>	<i>200</i>
3.1.2	<i>Mesure de la consistance .....</i>	<i>200</i>
3.1.3	<i>Affaissement (NBN EN 12350-2) .....</i>	<i>201</i>
3.1.4	<i>Étalement (NBN EN 12350-5).....</i>	<i>202</i>
3.1.5	<i>Temps Vébé (NBN EN 12350-3).....</i>	<i>204</i>
3.1.6	<i>Indice de serrage (NBN EN 12350-4).....</i>	<i>204</i>
3.1.7	<i>Classes de consistance.....</i>	<i>205</i>
3.2	Rhéologie .....	206
3.3	Prise .....	207
3.4	Teneur en air.....	207





3.5	Masse volumique.....	208
3.6	Rendement.....	208
3.7	Teneur en eau totale.....	209
<b>4</b>	<b>Béton en phase de durcissement.....</b>	<b>211</b>
4.1	Dégagement de chaleur.....	211
4.1.1	<i>Généralités.....</i>	<i>211</i>
4.1.2	<i>Déformation empêchée interne.....</i>	<i>211</i>
4.1.3	<i>Déformation empêchée externe.....</i>	<i>213</i>
4.2	Développement de la résistance.....	213
4.3	Développement de la rigidité.....	215
4.4	Allongement à la rupture.....	215
4.5	Diagramme de contrainte-déformation.....	216
4.6	Coefficient de Poisson.....	217
4.7	Retrait.....	217
4.8	Fluage.....	218
4.9	Propriétés thermiques.....	218
<b>5</b>	<b>Influence de la température sur les caractéristiques du béton frais et durcissant.....</b>	<b>218</b>
<b>6</b>	<b>Influence d'une dessiccation prématurée sur les caractéristiques du béton frais et durcissant.....</b>	<b>220</b>
<b>7</b>	<b>Prévision de la résistance du béton durcissant en pratique.....</b>	<b>221</b>
<b>8</b>	<b>Bibliographie.....</b>	<b>223</b>
<b>Chapitre IV - BÉTON DURCI.....</b>		<b>225</b>
<b>1</b>	<b>Introduction.....</b>	<b>225</b>
<b>2</b>	<b>Masse volumique.....</b>	<b>225</b>
<b>3</b>	<b>Résistance.....</b>	<b>226</b>
3.1	Résistance à la compression.....	226
3.2	Résistance à la traction.....	229
<b>4</b>	<b>Déformation.....</b>	<b>233</b>
4.1	Module d'élasticité.....	233
4.2	Coefficient de Poisson.....	235
<b>5</b>	<b>Retrait.....</b>	<b>235</b>
<b>6</b>	<b>Fluage.....</b>	<b>239</b>
<b>7</b>	<b>Coefficient de dilatation thermique.....</b>	<b>243</b>
<b>8</b>	<b>Isolation thermique et acoustique.....</b>	<b>243</b>
<b>9</b>	<b>béton en conditions extrêmes.....</b>	<b>246</b>
9.1	Influence des températures élevées.....	246
9.2	Dégâts dus aux incendies.....	247



9.3	Influence des basses températures .....	250
<b>10</b>	<b>Bibliographie .....</b>	<b>251</b>
<b>Chapitre V - DURABILITÉ .....</b>		<b>253</b>
<b>1</b>	<b>Introduction .....</b>	<b>253</b>
<b>2</b>	<b>Fondement théorique .....</b>	<b>254</b>
2.1	Mécanismes de transport dans le béton .....	254
2.1.1	<i>Structure des pores.....</i>	<i>254</i>
2.1.2	<i>Perméabilité.....</i>	<i>256</i>
2.1.3	<i>Différents mécanismes de transport.....</i>	<i>258</i>
2.1.3.1	Transport par diffusion .....	258
2.1.3.1.1	Diffusion de vapeur d'eau .....	258
2.1.3.1.2	Diffusion des gaz.....	262
2.1.3.1.3	Diffusion d'ions.....	262
2.1.3.2	Transport par ascension capillaire .....	263
2.1.3.3	Transport par pression hydrostatique .....	265
2.2	Fissuration.....	265
2.2.1	<i>Fissures admissibles .....</i>	<i>265</i>
2.2.2	<i>Fissuration inadmissible .....</i>	<i>266</i>
<b>3</b>	<b>Mécanismes de dégradation .....</b>	<b>268</b>
3.1	Classes d'exposition et exigences de durabilité.....	268
3.1.1	<i>Classes d'exposition.....</i>	<i>268</i>
3.1.2	<i>Exigences de durabilité.....</i>	<i>270</i>
3.1.3	<i>Relation ciment-durabilité.....</i>	<i>274</i>
3.2	Dégradation par corrosion.....	274
3.2.1	<i>Mécanisme de corrosion .....</i>	<i>274</i>
3.2.2	<i>Action protectrice du béton d'enrobage .....</i>	<i>276</i>
3.2.3	<i>Corrosion initiée par la carbonatation .....</i>	<i>276</i>
3.2.3.1	Carbonatation (phase d'initiation).....	276
3.2.3.2	Corrosion initiée par la carbonatation (phase de propagation)...	278
3.2.3.3	Moyens de prévention.....	280
3.2.4	<i>Corrosion initiée par les chlorures.....</i>	<i>281</i>
3.2.4.1	Mécanisme de la corrosion.....	281
3.2.4.2	Chlorures présents par pénétration.....	283
3.2.4.3	Chlorures introduits lors du malaxage.....	284
3.2.4.4	Moyens de prévention.....	285
3.3	Dégradation par cycles de gel-dégel (avec ou sans sels de déverglaçage).....	286
3.3.1	<i>Cycles de gel-dégel.....</i>	<i>286</i>



3.3.1.1	Effet du gel sur le béton.....	286
3.3.1.2	Moyens de prévention.....	289
3.3.2	<i>Cycles de gel-dégel en combinaison avec des sels de déverglaçage</i> .....	290
3.3.2.1	Effet des sels de déverglaçage.....	290
3.3.2.2	Moyens de prévention.....	291
3.4	Dégradation par la réaction alcali-silice .....	292
3.4.1	<i>Mécanisme</i> .....	292
3.4.2	<i>Moyens de prévention</i> .....	294
3.5	Attaque chimique par des sels et acides externes .....	296
3.5.1	<i>Destruction par des sels expansifs (attaque par les sulfates)</i> .....	296
3.5.1.1	Dégradation due aux sulfates .....	296
3.5.1.2	Moyens de prévention.....	297
3.5.2	<i>Dissolution de la pâte de ciment durci par les acides</i> .....	298
3.5.2.1	Attaque par les acides.....	298
3.5.2.2	Moyens de prévention.....	300
3.5.3	<i>Décomposition de la pâte de ciment durci par les sels</i> .....	300
3.5.3.1	Sels d'ammonium et de magnésium.....	300
3.5.3.2	Moyens de prévention.....	301
<b>4</b>	<b>Exigences de durabilité en pratique</b> .....	<b>301</b>
4.1	Application des classes d'exposition .....	301
4.2	Application des classes d'environnement .....	302
4.3	Enrobage.....	308
4.3.1	<i>Généralités</i> .....	308
4.3.2	<i>Enrobage minimal <math>c_{min}</math></i> .....	308
4.3.3	<i>Tolérance <math>\Delta c_{dev}</math></i> .....	310
<b>5</b>	<b>Tableaux d'aptitude à l'emploi spécifique</b> .....	<b>312</b>
<b>6</b>	<b>Bibliographie</b> .....	<b>315</b>
<b>Chapitre VI - SPÉCIFICATION</b> .....		<b>317</b>
<b>1</b>	<b>Introduction</b> .....	<b>317</b>
<b>2</b>	<b>Exigences de base</b> .....	<b>318</b>
2.1	Exigence de base A : Résistance à la compression .....	318
2.2	Exigence de base B : Durabilité.....	318
2.3	Exigence de base C : Consistance .....	319
2.4	Exigence de base D : $D_{upper}$ et $D_{lower}$ .....	319
<b>3</b>	<b>Exigences complémentaires (E)</b> .....	<b>320</b>
<b>4</b>	<b>Exemples</b> .....	<b>323</b>
<b>5</b>	<b>Bibliographie</b> .....	<b>324</b>
<b>Chapitre VII - COMPOSITION</b> .....		<b>325</b>



<b>1</b>	<b>Introduction .....</b>	<b>325</b>
<b>2</b>	<b>Exigences de base .....</b>	<b>326</b>
<b>3</b>	<b>Cadre théorique.....</b>	<b>326</b>
3.1	Résistance .....	326
3.1.1	Loi de Feret.....	327
3.1.1.1	Formule.....	327
3.1.1.2	Remarques .....	329
3.1.1.3	Exercices sur la loi de Feret.....	330
3.1.2	Autres formules.....	332
3.2	Ouvrabilité .....	334
3.2.1	Le besoin en eau (ou demande en eau).....	335
3.2.2	La teneur en eau.....	338
3.2.3	Adjuvants .....	339
3.3	Durabilité .....	340
3.4	Considérations géométriques.....	342
3.4.1	Effet de paroi – Rayon moyen d’un volume à bétonner.....	342
3.4.2	Rayon moyen d’une ouverture .....	343
3.4.3	Dimension nominale maximale des granulats .....	343
3.5	Structure du squelette inerte et composition optimale.....	344
3.5.1	Généralités.....	344
3.5.2	Modèles de compacité .....	344
3.5.2.1	« Theory of particle mixtures », théorie générale conçue pour des mélanges à deux composants .....	345
3.5.2.2	Modèle de la particule solide avec le vide correspondant .....	345
3.5.2.3	Diagrammes d’indice des vides.....	347
3.5.3	Courbes idéales .....	352
3.5.3.1	Courbes idéales du squelette inerte .....	352
3.5.3.1.1	Compositions interrompues ou discontinues.....	352
3.5.3.1.2	Compositions continues .....	352
3.5.3.2	Courbes idéales du squelette solide .....	355
3.5.3.2.1	Méthode de Bolomey.....	355
3.5.3.2.2	Méthode de Faury .....	356
<b>4</b>	<b>Traduction en normes.....</b>	<b>358</b>
<b>5</b>	<b>Conception du mélange dans la pratique.....</b>	<b>362</b>
<b>6</b>	<b>Outils logiciels .....</b>	<b>367</b>
6.1	Méthode des moindres carrés comme méthode d’approche pour une courbe idéale pré-établie.....	367
6.2	Logiciel Mix Design .....	370
<b>7</b>	<b>Exemples détaillés .....</b>	<b>370</b>



7.1 Exemple 1 .....	370
7.2 Exemple 2 .....	377
7.3 Exemple 3 .....	383
7.4 Exemple 4 .....	387
<b>8 Bibliographie.....</b>	<b>392</b>
<b>Chapitre VIII - PRODUCTION ET TRANSPORT.....</b>	<b>395</b>
<b>1 Introduction.....</b>	<b>395</b>
<b>2 Types de centrales à béton .....</b>	<b>396</b>
2.1 Selon la méthode de fabrication utilisée.....	396
2.2 Selon la configuration de la centrale.....	397
2.3 Selon le degré de mobilité.....	398
<b>3 Approvisionnement et stockage des constituants .....</b>	<b>399</b>
3.1 Généralités .....	399
3.2 Ciment .....	399
3.2.1 Approvisionnement.....	399
3.2.2 Stockage.....	400
3.2.3 Précautions .....	400
3.2.4 Manutention .....	401
3.3 Granulats (sables et gravillons) .....	401
3.3.1 Approvisionnement.....	401
3.3.2 Stockage.....	401
3.3.3 Précautions .....	403
3.4 Eau de gâchage.....	408
3.4.1 Approvisionnement et stockage.....	408
3.4.2 Précautions et manutention .....	408
3.5 Adjuvants.....	408
3.5.1 Approvisionnement et stockage.....	408
3.5.2 Précautions et manutention .....	409
3.6 Additions.....	410
3.7 Fibres .....	410
<b>4 Dosage des constituants.....</b>	<b>410</b>
4.1 Généralités .....	410
4.2 Ciment .....	411
4.3 Granulats .....	412
4.4 Eau.....	413
4.5 Adjuvants.....	414
4.6 Additions de type I ou II.....	414
4.7 Fibres .....	415



<b>5</b>	<b>Le malaxage du béton frais</b> .....	<b>417</b>
5.1	Généralités.....	417
5.2	Types de malaxeurs .....	417
5.3	Principes de base du malaxage.....	420
5.3.1	<i>Ordre d'introduction des constituants</i> .....	420
5.3.2	<i>Degré de remplissage</i> .....	420
5.3.3	<i>Durée de malaxage</i> .....	421
5.4	Vidange du malaxeur .....	421
<b>6</b>	<b>Transport du béton frais</b> .....	<b>422</b>
6.1	Longs trajets.....	422
6.1.1	<i>Camion malaxeur / camion-mixer</i> .....	422
6.1.2	<i>Camion benne</i> .....	425
6.2	Trajets courts .....	426
6.2.1	<i>Coulage en direct dans le coffrage</i> .....	426
6.2.2	<i>Utilisation de rallonges ou de tuyaux de déchargement</i> .....	426
6.2.3	<i>Utilisation de brouettes ou de wagonnets</i> .....	427
6.2.4	<i>Utilisation de tapis transporteurs</i> .....	427
6.2.5	<i>Utilisation de cufa ou de grappin avec une grue</i> .....	427
6.2.6	<i>Utilisation de la pompe à béton</i> .....	429
<b>7</b>	<b>Le bon de livraison</b> .....	<b>430</b>
<b>8</b>	<b>Le recyclage en centrale à béton</b> .....	<b>432</b>
<b>9</b>	<b>La préfabrication</b> .....	<b>434</b>
9.1	Généralités.....	434
9.2	Avantages de la préfabrication .....	437
9.2.1	<i>Qualité des produits</i> .....	437
9.2.2	<i>Gain de temps sur le chantier</i> .....	437
9.2.3	<i>Influence des conditions climatiques</i> .....	437
9.2.4	<i>Classement des produits en béton préfabriqués</i> .....	438
9.3	Description de processus de production des éléments les plus courants .....	439
9.3.1	<i>Blocs ou pavés en béton</i> .....	439
9.3.2	<i>Hourdis ou dalles alvéolées en béton précontraint</i> .....	440
<b>10</b>	<b>Bibliographie</b> .....	<b>443</b>
<b>Chapitre IX - MISE EN ŒUVRE</b> .....		<b>445</b>
<b>1</b>	<b>Introduction</b> .....	<b>445</b>
<b>2</b>	<b>Contrôles avant la mise en place du béton</b> .....	<b>445</b>
2.1	Gestion de la qualité .....	445
2.2	Coffrages.....	446



2.3	Armatures.....	446
2.4	Béton .....	447
2.5	Délai garanti de mise en œuvre.....	448
<b>3</b>	<b>Ajouts au béton sur chantier .....</b>	<b>449</b>
3.1	Ajout d'eau .....	449
3.2	Ajout d'un superplastifiant ou d'autres adjuvants .....	450
3.3	Ajout de fibres .....	450
<b>4</b>	<b>Déversement du béton dans un coffrage .....</b>	<b>451</b>
4.1	Points d'attention .....	451
4.2	Pompage du béton .....	452
4.2.1	<i>Pompes à béton .....</i>	<i>452</i>
4.2.2	<i>Béton pompable.....</i>	<i>454</i>
<b>5</b>	<b>Techniques de bétonnage spéciales.....</b>	<b>455</b>
<b>6</b>	<b>Serrage .....</b>	<b>455</b>
6.1	Introduction.....	455
6.2	Serrage par vibration.....	456
6.2.1	<i>Les aiguilles vibrantes .....</i>	<i>457</i>
6.2.2	<i>Vibrateurs de coffrage .....</i>	<i>461</i>
6.2.3	<i>Vibrateurs de surface.....</i>	<i>461</i>
6.2.4	<i>Table vibrante .....</i>	<i>462</i>
6.3	Serrage par chocs .....	462
6.4	Serrage par pression.....	463
6.5	Serrage par laminage (aplatissement).....	463
6.6	Serrage par centrifugation.....	463
<b>7</b>	<b>Joint de reprise .....</b>	<b>464</b>
<b>8</b>	<b>Finitions.....</b>	<b>465</b>
<b>9</b>	<b>Bibliographie.....</b>	<b>466</b>
<b>Chapitre X - ACIERS.....</b>		<b>467</b>
<b>Chapitre X.1 - ARMATURES.....</b>		<b>467</b>
<b>1</b>	<b>Introduction.....</b>	<b>467</b>
1.1	Principe.....	467
1.2	Développement.....	467
<b>2</b>	<b>Types d'aciers pour béton .....</b>	<b>468</b>
<b>3</b>	<b>Désignation des aciers pour béton.....</b>	<b>470</b>
<b>4</b>	<b>Qualité des aciers pour béton.....</b>	<b>471</b>
<b>5</b>	<b>Caractéristiques géométriques des aciers pour béton .....</b>	<b>472</b>
5.1	Diamètre nominal.....	472
5.2	Section nominale A.....	473



5.3	Hauteur et espacement des nervures .....	474
5.4	Profondeur et espacement des empreintes .....	474
5.5	Identification du producteur et de la classe technique .....	474
<b>6</b>	<b>Façonnage, stockage et transport.....</b>	<b>475</b>
6.1	Façonnage en atelier des aciers pour béton.....	475
6.1.1	<i>Généralités .....</i>	<i>475</i>
6.1.2	<i>Coupe – pliage.....</i>	<i>476</i>
6.1.3	<i>Redressage .....</i>	<i>476</i>
6.1.4	<i>Soudage technologique.....</i>	<i>476</i>
6.1.5	<i>Contrôle des propriétés à la mise en œuvre.....</i>	<i>477</i>
6.2	Stockage et transport .....	477
6.2.1	<i>Généralités .....</i>	<i>477</i>
6.2.2	<i>Stockage dans la centrale d’armatures.....</i>	<i>477</i>
6.2.3	<i>Transport vers le chantier .....</i>	<i>478</i>
6.2.4	<i>Stockage et transport sur le chantier .....</i>	<i>478</i>
6.3	Façonnage sur chantier.....	478
<b>7</b>	<b>Ancrage des fils et des barres.....</b>	<b>479</b>
<b>8</b>	<b>Continuité des fils et des barres .....</b>	<b>479</b>
<b>9</b>	<b>Mise en place de l’armature.....</b>	<b>481</b>
9.1	Distance minimale entre les barres d’armature .....	481
9.2	Enrobage des armatures.....	481
9.3	Écarteurs.....	482
<b>10</b>	<b>Bibliographie .....</b>	<b>483</b>
<b>Chapitre X.2 - ARMATURES DE PRECONTRAINTÉ .....</b>		<b>485</b>
<b>1</b>	<b>Introduction .....</b>	<b>485</b>
1.1	Principe .....	485
1.2	Développement .....	485
<b>2</b>	<b>Types d’armatures de précontrainte .....</b>	<b>486</b>
<b>3</b>	<b>Désignation des armatures de précontrainte.....</b>	<b>488</b>
<b>4</b>	<b>Propriétés des armatures de précontrainte .....</b>	<b>489</b>
4.1	Propriétés standards.....	489
4.2	Propriétés spéciales .....	490
4.2.1	<i>Essai de relaxation isotherme .....</i>	<i>490</i>
4.2.2	<i>Essai de fatigue par force axiale .....</i>	<i>491</i>
4.2.3	<i>Essai de corrosion sous contrainte dans une solution de thiocyanate d’ammonium.....</i>	<i>491</i>
4.2.4	<i>Résistance aux contraintes multiaxiales - Essai de traction déviée.....</i>	<i>492</i>
<b>5</b>	<b>Mode de mise en précontrainte .....</b>	<b>492</b>





5.1	Généralités .....	492
5.2	Précontrainte par adhérence .....	493
5.2.1	<i>Généralités</i> .....	493
5.2.2	<i>Déviaton des armatures de précontrainte</i> .....	493
5.3	Précontrainte par post-tension .....	493
5.3.1	<i>Généralités</i> .....	493
5.3.2	<i>Agrément des kits de précontrainte par post-tension</i> .....	494
5.3.3	<i>Essai de frettage</i> .....	495
5.3.4	<i>Essai de rendement sur câble complet</i> .....	495
5.3.5	<i>Essai de rendement monotoron</i> .....	495
<b>6</b>	<b>Stockage et mise en place des armatures de précontrainte</b> .....	<b>495</b>
6.1	Précaution de stockage .....	495
6.2	Disposition des armatures de précontrainte et des gaines.....	496
6.3	Enrobage des armatures de précontrainte .....	496
6.4	Ligatures .....	496
6.5	Continuité des armatures de précontrainte : coupleurs .....	497
<b>7</b>	<b>Mise en tension</b> .....	<b>497</b>
7.1	Etalonnage des vérins.....	497
7.2	Développement de la résistance du béton.....	497
7.3	Essais de frottement – Longueur de scellement .....	498
7.4	Protection par injection.....	499
<b>8</b>	<b>Exemple de réalisation en Belgique</b> .....	<b>499</b>
<b>9</b>	<b>Bibliographie</b> .....	<b>500</b>
<b>Chapitre XI - COFFRAGES</b> .....		<b>503</b>
<b>1</b>	<b>Introduction</b> .....	<b>503</b>
<b>2</b>	<b>Structure d'un coffrage</b> .....	<b>505</b>
2.1	Coffrage classique.....	505
2.2	Système de coffrage .....	506
2.2.1	<i>Système de coffrage traditionnel</i> .....	506
2.2.2	<i>Système de coffrage modulaire</i> .....	507
<b>3</b>	<b>Matériaux</b> .....	<b>508</b>
3.1	Bois .....	508
3.1.1	<i>Généralités</i> .....	508
3.1.2	<i>Types</i> .....	509
3.2	Métal .....	509
3.3	Matériaux synthétiques.....	510
3.4	Tableau comparatif.....	512
<b>4</b>	<b>Coffrages et matériaux spéciaux</b> .....	<b>512</b>



4.1	Coffrage permanent .....	513
4.1.1	<i>Coffrage permanent non collaborant</i> .....	513
4.1.2	<i>Coffrage permanent collaborant</i> .....	514
4.2	Coffrage grim pant.....	515
4.3	Coffrage glissant .....	515
4.4	Coffrage avec système de pompage par le bas .....	517
4.5	Nappes de coffrage à perméabilité contrôlée (CPF-liners).....	517
4.6	Coffrages en carton.....	518
<b>5</b>	<b>Conception .....</b>	<b>518</b>
5.1	Principes généraux de conception .....	518
5.2	Tolérances.....	520
5.3	Poussée du béton frais .....	521
5.3.1	<i>Poussée verticale du béton frais</i> .....	521
5.3.2	<i>Poussée horizontale du béton frais</i> .....	522
5.3.2.1	Calcul de la poussée horizontale.....	522
5.3.2.2	Reprise de la poussée horizontale .....	525
5.4	Aspect extérieur du béton .....	526
5.4.1	<i>Parois de coffrage</i> .....	526
5.4.2	<i>Joints de coffrage, joints de reprise et trous de tirants</i> .....	528
<b>6</b>	<b>Produits de décoffrage.....</b>	<b>530</b>
<b>7</b>	<b>Bibliographie .....</b>	<b>531</b>
<b>Chapitre XII - DÉCOFFRAGE, CURE ET PROTECTION .....</b>		<b>533</b>
<b>1</b>	<b>Introduction .....</b>	<b>533</b>
<b>2</b>	<b>Protection du béton jeune contre la dessiccation .....</b>	<b>534</b>
2.1	Évaporation de l'eau à la surface du béton frais .....	534
2.2	Influence néfaste de la dessiccation de la surface du béton .....	535
2.2.1	<i>Arrêt de l'hydratation</i> .....	536
2.2.2	<i>Formation de fissures suite au retrait plastique et au retrait de séchage prématuré</i> .....	536
2.3	Méthodes de cure.....	537
2.3.1	<i>Laisser le coffrage en place</i> .....	538
2.3.2	<i>Recouvrir de bâches plastiques et de panneaux de recouvrement</i> .....	538
2.3.3	<i>Mettre en place des couches humides</i> .....	539
2.3.4	<i>Appliquer une cure à l'eau</i> .....	539
2.3.5	<i>Appliquer un produit de cure (« curing compound »)</i> .....	540
2.4	Durée de la cure.....	541
2.4.1	<i>Généralités</i> .....	541
2.4.2	<i>Exigences</i> .....	542



2.4.2.1	Cas des bétons coulés in situ .....	542
2.4.2.2	Cas des produits préfabriqués .....	545
<b>3</b>	<b>Protection du béton frais contre la pluie .....</b>	<b>546</b>
<b>4</b>	<b>Protection du béton jeune contre le gel .....</b>	<b>546</b>
4.1	Influence du froid sur le béton jeune .....	546
4.1.1	<i>Ralentissement de la prise et du durcissement .....</i>	<i>547</i>
4.1.2	<i>Dégâts au béton jeune .....</i>	<i>547</i>
4.2	Précautions à prendre en hiver .....	547
4.2.1	<i>Composition du béton .....</i>	<i>548</i>
4.2.2	<i>Transport du béton .....</i>	<i>549</i>
4.2.3	<i>Mise en œuvre et protection du béton .....</i>	<i>549</i>
4.2.4	<i>Contrôle du durcissement .....</i>	<i>551</i>
<b>5</b>	<b>Protection du béton en phase de durcissement contre la formation de fissures d'origine thermique .....</b>	<b>551</b>
5.1	Développement de chaleur dans le béton en phase de durcissement .....	551
5.1.1	<i>Environnement isotherme .....</i>	<i>551</i>
5.1.2	<i>Environnement adiabatique .....</i>	<i>552</i>
5.2	Moyens pour prévenir les fissures d'origine thermique .....	553
5.2.1	<i>Composition du béton .....</i>	<i>553</i>
5.2.2	<i>Mesures d'isolation .....</i>	<i>553</i>
5.2.3	<i>Refroidissement de l'élément dans la phase de durcissement .....</i>	<i>554</i>
<b>6</b>	<b>Le décoffrage .....</b>	<b>554</b>
6.1	Le moment du décoffrage .....	554
6.1.1	<i>Généralités .....</i>	<i>554</i>
6.1.2	<i>Exigences .....</i>	<i>555</i>
6.2	Précautions lors du décoffrage .....	557
6.3	Durcissement accéléré .....	557
6.3.1	<i>Généralités .....</i>	<i>557</i>
6.3.2	<i>Durcissement à la vapeur .....</i>	<i>557</i>
<b>7</b>	<b>Protection du béton durci .....</b>	<b>559</b>
7.1	Amélioration de la résistance aux salissures .....	559
7.2	Protection contre les attaques chimiques .....	560
7.2.1	<i>Mécanisme d'attaque chimique du béton .....</i>	<i>560</i>
7.2.2	<i>Degré d'agressivité de l'attaque chimique .....</i>	<i>560</i>
7.2.3	<i>Moyens de protection superficiels .....</i>	<i>561</i>
7.3	Etanchéité des bétons .....	562
7.4	Protection du béton contre la carbonatation .....	562
7.5	Mise en place de coatings sur le béton .....	562
<b>8</b>	<b>Bibliographie .....</b>	<b>563</b>



---

<b>Chapitre XIII - BÉTON DE ROUTE.....</b>	<b>565</b>
<b>1 Introduction .....</b>	<b>565</b>
<b>2 Types de routes en béton.....</b>	<b>568</b>
2.1 Dalles de béton .....	568
2.2 Béton armé continu (BAC).....	569
<b>3 Classement des routes .....</b>	<b>570</b>
<b>4 Sollicitations sur les revêtements routiers.....</b>	<b>572</b>
4.1 Sollicitations propres au béton .....	572
4.2 Sollicitations dues au trafic.....	573
4.3 Sollicitations dues au gel et aux sels de déverglaçage.....	574
<b>5 Éléments constitutifs du béton de route.....</b>	<b>574</b>
5.1 Gros granulats.....	574
5.2 Granulats fins (sable) .....	577
5.3 Eau .....	578
5.4 Ciment.....	578
5.5 Adjuvants .....	579
<b>6 Composition du béton routier.....</b>	<b>580</b>
6.1 Exemples de composition .....	582
6.1.1 Exemple 1 .....	582
6.1.2 Exemple 2 .....	582
<b>7 Propriétés et exigences du béton routier.....</b>	<b>583</b>
7.1 Résistance à la compression .....	583
7.2 Ouvrabilité .....	584
7.3 Teneur en air.....	584
7.4 Absorption d'eau .....	585
7.5 Résistance à l'écaillage .....	585
<b>8 Mise en place du béton de route.....</b>	<b>586</b>
8.1 Confection et dosage .....	586
8.2 Transport du béton frais .....	587
8.3 Épandage du béton frais.....	588
8.4 Pose entre coffrages fixes.....	589
8.5 Pose avec une machine à coffrages glissants .....	589
8.6 Finition de la surface.....	590
8.7 Protection de la surface.....	591
<b>9 Applications particulières du béton routier .....</b>	<b>592</b>
9.1 Béton silencieux.....	592
9.2 Béton à durcissement rapide.....	593
9.3 Béton coloré (lavé).....	594
9.4 Béton imprimé.....	595



<b>10 Mélanges liés au ciment pour fondations routières.....</b>	<b>596</b>
10.1 Généralités .....	596
10.2 Empierrement lié au ciment.....	598
10.3 Sable-ciment.....	599
10.4 Béton maigre .....	599
10.5 Béton maigre drainant.....	600
10.6 Béton sec compacté .....	601
<b>11 Bibliographie.....</b>	<b>602</b>
<b>Chapitre XIV - BÉTONS SPÉCIAUX.....</b>	<b>605</b>
<b>Chapitre XIV.1 - BÉTON FIBRÉ .....</b>	<b>605</b>
<b>1 Définition.....</b>	<b>605</b>
<b>2 Action des fibres et propriétés du béton fibré.....</b>	<b>606</b>
<b>3 Calcul du béton fibré .....</b>	<b>608</b>
<b>4 Recommandations pratiques.....</b>	<b>611</b>
<b>5 Applications .....</b>	<b>612</b>
<b>6 Bibliographie.....</b>	<b>613</b>
<b>Chapitre XIV.2 - BÉTON AUTO-PLAÇANT .....</b>	<b>615</b>
<b>1 Introduction.....</b>	<b>615</b>
<b>2 Rhéologie.....</b>	<b>615</b>
<b>3 Caractérisation à l'état frais.....</b>	<b>618</b>
3.1 Caractéristiques.....	618
3.2 Méthodes d'essais spécifiques aux BAP .....	619
3.2.1 <i>Etalement au cône d'Abrams.....</i>	<i>619</i>
3.2.2 <i>Écoulement à l'entonnoir en V.....</i>	<i>620</i>
3.2.3 <i>Boîte en L .....</i>	<i>620</i>
3.2.4 <i>Anneau.....</i>	<i>621</i>
3.2.5 <i>Stabilité au tamis .....</i>	<i>622</i>
<b>4 Conception du mélange.....</b>	<b>623</b>
4.1 Généralités .....	623
4.1.1 <i>Méthodes de conception du mélange.....</i>	<i>624</i>
4.2 Exemple de composition de BAP.....	625
<b>5 Spécification .....</b>	<b>626</b>
5.1 Données à spécifier .....	626
5.2 Choix des classes en fonction des applications .....	627
5.3 Classe d'étalement .....	628
5.4 Classe de viscosité .....	628
5.5 Classe d'aptitude à l'écoulement .....	628
5.6 Classe de résistance à la ségrégation .....	629



<b>6 Exécution.....</b>	<b>629</b>
6.1 Réception sur le chantier.....	629
6.2 Mise en œuvre.....	629
6.3 Coffrage.....	632
6.4 Cure.....	633
<b>7 Caractéristiques du béton auto-plaçant durci.....</b>	<b>633</b>
<b>8 Applications.....</b>	<b>634</b>
<b>9 Bibliographie.....</b>	<b>636</b>
<b>Chapitre XIV.3 - BÉTON PROJETÉ.....</b>	<b>639</b>
<b>1 Introduction.....</b>	<b>639</b>
<b>2 Techniques de projection.....</b>	<b>640</b>
2.1 Méthode sèche.....	640
2.2 Méthode humide.....	641
<b>3 Composition du béton.....</b>	<b>641</b>
3.1 Méthode sèche.....	642
3.2 Méthode humide.....	642
<b>4 Exécution.....</b>	<b>643</b>
<b>5 Propriétés.....</b>	<b>644</b>
<b>6 BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>644</b>
<b>Chapitre XIV.4 - BÉTON APPARENT ET ARCHITECTONIQUE.....</b>	<b>645</b>
<b>1 Introduction.....</b>	<b>645</b>
<b>2 Conception.....</b>	<b>646</b>
<b>3 Propriétés de la zone périphérique et de la peau du béton.....</b>	<b>648</b>
3.1 Zone périphérique.....	648
3.2 Couleur de surface.....	651
3.3 Types de surfaces.....	656
3.3.1 <i>Surface coffrée et non coffrée.....</i>	<i>656</i>
3.3.2 <i>Surface non traitée.....</i>	<i>656</i>
3.3.3 <i>Surface traitée.....</i>	<i>657</i>
3.3.3.1 Lavage à l'eau.....	657
3.3.3.2 Lavage à l'acide.....	658
3.3.3.3 Polissage.....	659
3.3.3.4 Grenailage.....	660
3.3.3.5 Bouchardage.....	661
<b>4 NBN B 15-007 : Béton apparent.....</b>	<b>661</b>
4.1 Classifications du béton apparent.....	661
4.2 Spécification du béton apparent.....	663
<b>5 PTV 21-601 : Éléments préfabriqués en béton architectonique.....</b>	<b>663</b>



<b>6 Bibliographie.....</b>	<b>664</b>
<b>Chapitre XIV.5 - BÉTON À HAUTES ET ULTRA-HAUTES PERFORMANCES.....</b>	<b>665</b>
<b>1 Introduction.....</b>	<b>665</b>
<b>2 Principes de conception du mélange.....</b>	<b>666</b>
2.1 Matières premières.....	666
2.1.1 <i>Ciment</i> .....	666
2.1.2 <i>Fins et gros granulats</i> .....	666
2.1.3 <i>Fumée de silice</i> .....	667
2.1.4 <i>Métakaolin</i> .....	667
2.1.5 <i>Superplastifiant/haut réducteur d'eau</i> .....	667
2.1.6 <i>Fibres</i> .....	667
2.2 Conception du mélange.....	668
<b>3 Spécification.....</b>	<b>669</b>
<b>4 Propriétés et caractéristiques.....</b>	<b>670</b>
<b>5 Applications.....</b>	<b>671</b>
<b>6 Bibliographie.....</b>	<b>672</b>
<b>Chapitre XIV.6 - BÉTON LÉGER.....</b>	<b>675</b>
<b>1 Définition.....</b>	<b>675</b>
<b>2 Types de granulats légers.....</b>	<b>676</b>
<b>3 Spécification du béton léger.....</b>	<b>678</b>
3.1 Spécification sur base des propriétés et des performances.....	678
3.2 Spécification sur base de la composition.....	680
<b>4 Propriétés et caractéristiques du béton léger.....</b>	<b>681</b>
<b>5 Conception du mélange de béton léger.....</b>	<b>685</b>
5.1 Résistance à la compression.....	685
5.2 Composition du squelette inerte.....	686
5.3 Absorption d'eau, besoin en eau et humidité des granulats.....	686
5.4 Conception sur base de la masse volumique.....	687
5.5 Exemple de conception d'un mélange.....	687
<b>6 Production et mise en œuvre.....</b>	<b>688</b>
6.1 Malaxage.....	688
6.2 Transport et mise en œuvre.....	689
6.3 Compactage et cure.....	690
<b>7 Applications.....</b>	<b>690</b>
<b>8 Bibliographie.....</b>	<b>692</b>



---

<b>Chapitre XIV.7 - BÉTON MOUSSE</b> .....	<b>695</b>
<b>1 Introduction</b> .....	<b>695</b>
<b>2 Propriétés</b> .....	<b>696</b>
<b>3 Conception du mélange</b> .....	<b>697</b>
<b>4 Fabrication</b> .....	<b>698</b>
<b>5 Mesures de précaution</b> .....	<b>699</b>
<b>6 Applications</b> .....	<b>699</b>
<b>7 Bibliographie</b> .....	<b>700</b>
<b>Chapitre XIV.8 - LE BÉTON COLLOÏDAL</b> .....	<b>701</b>
<b>1 Introduction</b> .....	<b>701</b>
<b>2 Les défis</b> .....	<b>701</b>
<b>3 Le béton colloïdal</b> .....	<b>702</b>
<b>4 Applications du béton colloïdal</b> .....	<b>704</b>
4.1 Béton colloïdal étanche .....	704
4.1.1 <i>Domaine d'application</i> .....	704
4.1.2 <i>Spécification</i> .....	705
4.1.3 <i>Exécution</i> .....	706
4.2 Béton colloïdal perméable à l'eau .....	706
4.2.1 <i>Domaine d'application</i> .....	706
4.2.2 <i>Spécification</i> .....	708
4.2.3 <i>Exécution</i> .....	709
4.3 Béton colloïdal de pénétration .....	710
4.3.1 <i>Domaine d'application</i> .....	710
4.3.2 <i>Spécification</i> .....	711
4.3.3 <i>Exécution</i> .....	711
<b>5 Bibliographie</b> .....	<b>711</b>
<b>Chapitre XIV.9 - BÉTON LOURD</b> .....	<b>713</b>
<b>1 Introduction</b> .....	<b>713</b>
<b>2 Granulats lourds</b> .....	<b>713</b>
<b>3 Spécification du béton lourd</b> .....	<b>715</b>
<b>4 Propriétés</b> .....	<b>715</b>
<b>5 Conception du mélange</b> .....	<b>715</b>
<b>6 Production et mise en œuvre : mesures de précaution</b> .....	<b>716</b>
<b>7 Bibliographie</b> .....	<b>717</b>
<b>Chapitre XIV.10 - BÉTON RÉFRACTAIRE</b> .....	<b>719</b>
<b>1 Introduction</b> .....	<b>719</b>
<b>2 Les différents types de bétons réfractaires</b> .....	<b>720</b>





<b>3 Composants des bétons réfractaires</b> .....	<b>721</b>
3.1 Liants .....	721
3.1.1 Ciments alumineux.....	721
3.1.2 Liants chimiques.....	723
3.1.3 Liant divers.....	723
3.2 Fines particules.....	723
3.3 Agrégats.....	724
3.4 Adjuvants.....	725
3.5 Fibres .....	726
<b>4 Mise en œuvre du béton réfractaire</b> .....	<b>726</b>
4.1 Généralités .....	726
4.2 Méthodes de mise en œuvre .....	727
4.2.1 Coulage .....	727
4.2.2 Coulage avec vibration.....	727
4.2.3 Auto-coulage.....	727
4.2.4 Projection .....	727
4.3 Décoffrage .....	728
4.4 Matériaux préformés.....	728
<b>5 Séchage et cuisson des bétons réfractaires</b> .....	<b>728</b>
<b>6 Bibliographie</b> .....	<b>730</b>
<b>Chapitre XIV.11 - BÉTON MODIFIÉ AUX POLYMÈRES</b> .....	<b>731</b>
<b>1 Introduction</b> .....	<b>731</b>
<b>2 Types de polymères</b> .....	<b>732</b>
<b>3 Propriétés du béton modifié aux polymères</b> .....	<b>734</b>
<b>4 Effet synergétique entre l'hydratation du ciment et la formation du film de polymère</b> .....	<b>734</b>
<b>5 Applications</b> .....	<b>735</b>
<b>6 Bibliographie</b> .....	<b>736</b>
<b>Chapitre XV - CONTRÔLE ET CERTIFICATION</b> .....	<b>737</b>
<b>1 Introduction</b> .....	<b>737</b>
1.1 La qualité du béton.....	737
1.2 Règles de l'art et normalisation.....	737
1.3 Responsabilité .....	739
1.4 Concepts relatifs à l'assurance qualité .....	740
<b>2 Certification réglementaire et Volontaire</b> .....	<b>740</b>
2.1 Marquage CE et certification règlementaire .....	740
2.2 Certification volontaire.....	746
2.2.1 Introduction .....	746



2.2.2	Certification du béton.....	751
2.3	Réception des produits par lot(s) .....	754
<b>3</b>	<b>Béton prêt à l'emploi .....</b>	<b>755</b>
3.1	Choix des matières premières .....	755
3.1.1	Aptitude générale.....	755
3.1.2	Aptitude spécifique.....	756
3.2	Définition, identification et regroupements de produits .....	756
3.3	Essais initiaux (IT).....	757
3.4	Maîtrise et contrôle du processus de production.....	758
3.4.1	Généralités .....	758
3.4.2	Gestion des matières premières.....	759
3.4.3	Contrôle des appareils de production.....	760
3.4.4	Appareils de mesurage et d'essai.....	760
3.4.5	Vérifications en cours de production.....	760
3.5	Contrôle de conformité .....	761
3.5.1	Généralités .....	761
3.5.2	Caractéristiques contrôlées.....	761
3.5.3	Echantillonnage et éprouvettes d'essai.....	762
3.5.4	Plan d'échantillonnage et fréquence de prélèvement.....	763
3.5.5	Critère de conformité .....	765
3.5.6	Interprétation et mesures correctives .....	775
3.6	Documents de livraison et information .....	775
3.6.1	Information .....	775
3.6.2	Bons de livraison .....	776
<b>4</b>	<b>Éléments préfabriqués en béton .....</b>	<b>776</b>
4.1	Introduction .....	776
4.2	Choix des matières premières .....	777
4.3	Définition, identification en regroupement des produits.....	777
4.4	Essais initiaux.....	778
4.5	Maîtrise et contrôle du processus de production.....	778
4.6	Contrôle de conformité .....	779
4.7	Documents de livraison et information .....	780
<b>5</b>	<b>Contrôle sur les ouvrages.....</b>	<b>782</b>
5.1	Généralités.....	782
5.2	Essais in situ .....	782
5.3	Essais sur des éprouvettes prélevées dans l'ouvrage.....	783
5.3.1	Essais mécaniques.....	783
5.3.2	Essais physiques .....	785
5.3.3	Essais chimiques.....	785



---

5.3.4	<i>Méthodes d'identification chimiques rapides</i> .....	785
5.3.5	<i>Analyse pétrographique - microscopique</i> .....	786
5.3.6	<i>Essais de vieillissement accéléré sur échantillons de béton durci</i> .....	786
<b>6</b>	<b>Aperçu des essais dans le cadre de la certification BENOR du béton prêt à l'emploi</b> .....	<b>786</b>
<b>7</b>	<b>Bibliographie</b> .....	<b>789</b>
	<b>Table des matières</b> .....	<b>791</b>