

Nouveau guide du béton et de ses constituants



Huitième édition

Georges DREUX
Jean FESTA

Offert avec
le livre :
un poster
pour choisir
un ciment
approprié

ÉDITIONS EYROLLES
61, Bld Saint-Germain
75240 Paris Cedex 05
www.editions-eyrolles.com



Le code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée notamment dans les établissements d'enseignement, provoquant une baisse brutale des achats de livres, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.

En application de la loi du 11 mars 1957, il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement le présent ouvrage, sur quelque support que ce soit, sans autorisation de l'Éditeur ou du Centre Français d'exploitation du droit de Copie, 20, rue des Grands Augustins, 75006 Paris.

© Éditions Eyrolles, 1995, 1998, ISBN 2-212-10231-3

TABLE DES MATIÈRES

LES CONSTITUANTS DU BÉTON

PREMIÈRE PARTIE

LES CIMENTS

CHAPITRE I – DONNÉES GÉNÉRALES SUR LES CIMENTS COURANTS	25
1. Composition des ciments courants	25
1.1 Constituants principaux	25
1.1.1 Clinker Portland	25
1.1.2 Laitier granulé de haut-fourneau	26
1.1.3 Cendres volantes	27
1.1.4 Pouzzolanes naturelles	27
1.1.5 Schistes calcinés	27
1.1.6 Calcaires	27
1.1.7 Fumées de silice	28
1.1.8 Constituants secondaires	28
1.1.9 Sulfate de calcium	28
1.1.10 Additifs	28
2. Principes de fabrication des ciments courants	29
2.1 Extraction	29
2.2 Concassage	29
2.3 Préparation du cru	29
2.3.1 Préhomogénéisation	30
2.3.2 Broyage séchage	30
2.3.3 Séparation	30
2.3.4 Homogénéisation	30
2.4 Cuisson	31
2.5 Refroidissement	31
2.6 Broyage	31
2.7 Stockage, ensachage et expédition	31
3. Différents types de ciments courants	31
4. Propriétés des ciments courants	32
4.1 Caractéristiques physiques	32
4.1.1 Comportement physico-chimique de la pâte	32
4.1.2 Indice d'hydraulicité	33
4.1.3 Prise	34
4.1.4 Durcissement	34
4.1.5 Fausse prise	35
4.1.6 Chaleur d'hydratation	35

4.1.7	Finesse de mouture	35
4.1.8	Retrait normalisé.....	35
4.1.9	Expansion.....	36
4.1.10	Gonflement.....	37
4.2	Caractéristiques chimiques	37
4.2.1	Ciments courants	37
4.2.2	Ciments courants à caractéristiques complémentaires	38
4.2.2.1	Ciments pour travaux à la mer.....	38
4.2.2.2	Ciments pour travaux en eaux à haute teneur en sulfate.....	39
4.2.2.3	Ciments à faible chaleur d'hydratation initiale.....	40
4.2.2.4	Ciments à usage tropical	40
4.3	Caractéristiques mécaniques des ciments courants	40
4.4	Marquages des sacs	41
5.	Cas particulier des ciments blancs	42
5.1	<i>Constitution</i>	42
5.2	<i>Propriétés</i>	42
CHAPITRE II – DONNÉES GÉNÉRALES SUR LES AUTRES CIMENTS		43
1.	Ciment alumineux fondu	43
1.1	<i>Composition</i>	43
1.2	<i>Caractéristiques</i>	43
1.2.1	Caractéristiques physiques	43
1.2.2	Caractéristiques chimiques	43
1.2.3	Caractéristiques mécaniques.....	44
2.	Ciment prompt naturel	44
2.1	<i>Composition</i>	44
2.2	<i>Caractéristiques</i>	44
2.2.1	Caractéristiques physiques	44
2.2.2	Caractéristiques chimiques principales	45
2.2.3	Caractéristiques mécaniques.....	45
3.	Ciment à maçonner CM et chaux hydrauliques artificielles XHA	45
3.1	<i>Ciments à maçonner</i>	46
3.1.1	Caractéristiques suivant la norme NF P 15-307 de 1969.....	46
3.1.2	Caractéristiques suivant la norme NF P 15-307 de 1997.....	46
3.1.2.1	Caractéristiques physiques et chimiques	46
3.1.2.2	Caractéristiques mécaniques	47
3.2	<i>Chaux hydrauliques artificielles XHA</i>	47
4.	Chaux de construction	48
4.1	<i>Classification</i>	48
4.2	<i>Résistances à la compression</i>	48
5.	Chaux aériennes	49
CHAPITRE III – CARACTÉRISTIQUES ET DOMAINES D'EMPLOI DES CIMENTS.		50
1.	Ciments Portland CPA-CEM I	50
1.1	<i>CPA-CEM I 42,5 et 42,5 R</i>	50

1.2	CPA-CEM I 52,5 et 52,5 R	52
1.3	CPA-CEM I blancs	53
2.	Ciments Portland composés CPJ-CEM II	54
2.1	CPJ-CEM II/A et CPJ-CEM II/B 32,5 et 32,5 R	54
2.2	CPJ-CEM II/A et CPJ-CEM II/B 42,5 et 42,5 R	55
2.3	CPJ-CEM II/A 42,5 blanc	56
2.4	CPJ-CEM II/A 52,5 et 52,5 R	56
2.5	CPJ-CEM II/A 52,5 et 52,5 R aux fumées de silice	57
3.	Ciments de haut-fourneau CHF-CEM III	58
3.1	CHF-CEM III/A 32,5 - 42,5 et 52,5	58
3.2	CHF-CEM III/B 32,5	60
3.3	CLK-CEM III/C 32,5	61
4.	Ciments au laitier et aux cendres. CLC-CEM V/A 32,5	62
5.	Ciments pouzzolaniques CPZ-CEM IV	63
5.1	CPZ-CEM IV /A et CPZ-CEM IV/B 42,5	63
5.2	CPZ-CEM IV /A et CPZ-CEM IV/B 22,5 UT	63
6.	Ciments alumineux fondu CA	63
7.	Ciments prompts naturels CNP	66
8.	Ciments blancs à maçonner	67
9.	Chaux de construction	68

CHAPITRE IV – CHOIX DU CIMENT EN FONCTION DES CONDITIONS CLIMATIQUES DU CHANTIER ET DE L'ENVIRONNEMENT DE L'OUVRAGE

70

1.	Choix du ciment en fonction des conditions climatiques	71
1.1	Cas du bétonnage par temps froid	71
1.2	Cas du bétonnage par temps chaud	72
2.	Choix du ciment en fonction de l'agressivité de l'environnement	73
2.1	Classification des environnements selon le fascicule de documentation P 18-011	73
2.1.1	Classe d'agressivité A1	73
2.1.2	Classe d'agressivité A2	74
2.1.3	Classe d'agressivité A3	76
2.1.4	Classe d'agressivité A4	77
2.2	Classification des environnements selon la norme XP P 18-305	78
2.3	Classification des environnements suivant le projet de norme NF EN 206	79

CHAPITRE V – CHOIX DES CIMENTS EN FONCTION DES TRAVAUX

83

1.	Choix des ciments en fonction des types d'ouvrages	84
1.1	Aveuglement de renards et de voies d'eau	84
1.2	Badigeons	84
1.3	Barrages	85

1.4	<i>Calages</i>	85
1.5	<i>Carrelages</i>	85
1.6	<i>Chapes</i>	86
1.7	<i>Dallages</i>	86
1.8	<i>Egouts</i>	87
1.9	<i>Enduits</i>	87
1.10	<i>Fondations</i>	91
1.11	<i>Formes de pentes destinées à recevoir une étanchéité</i>	92
1.12	<i>Formes de pentes pour revêtements de sols scellés</i>	92
1.13	<i>Maçonneries, mortiers de pose</i>	92
1.14	<i>Moulages décoratifs</i>	93
1.15	<i>Pieux</i>	93
1.16	<i>Puits de fondation</i>	94
1.17	<i>Réparations</i>	94
1.18	<i>Réservoirs alimentaires</i>	95
1.19	<i>Scellements</i>	95
1.20	<i>Semelles de fondation</i>	96
1.21	<i>Silos</i>	96
1.22	<i>Sols industriels</i>	97
1.23	<i>Solins de souches de cheminées</i>	98
1.24	<i>Traitement des sols</i>	98
1.25	<i>Tuiles de faitage</i>	98
1.26	<i>Tunnels</i>	98
2.	Choix des ciments en fonction du type de béton	98
2.1	<i>Bétons architectoniques</i>	98
2.2	<i>Bétons armés</i>	99
2.3	<i>Bétons maigres</i>	100
2.4	<i>Bétons de grande masse</i>	100
2.5	<i>Bétons à hautes et très hautes performances</i>	101
2.6	<i>Bétons précontraints</i>	101
2.7	<i>Bétons de propreté</i>	103
2.8	<i>Bétons réfractaires</i>	103
3.	Choix des ciments en fonction du type de mise en oeuvre	104
3.1	<i>Bétons étuvés</i>	104
3.2	<i>Bétons pompés</i>	105
3.3	<i>Bétons projetés</i>	106
3.4	<i>Coulis d'injection</i>	107
3.5	<i>Démoulage rapide</i>	107
3.6	<i>Préfabrication</i>	107
4.	Choix des ciments en fonction de l'environnement	108
4.1	<i>Eaux pures</i>	108
4.2	<i>Eaux à haute teneur en sulfates</i>	108
4.3	<i>Eaux de mer</i>	109
4.4	<i>Résistance à l'usure</i>	109
5.	Compatibilité entre béton frais et béton durci	109
6.	Compatibilité entre ciments dans un mélange	110

DEUXIÈME PARTIE

LES AUTRES CONSTITUANTS DU BÉTON

CHAPITRE VI – LES GRANULATS	113
1. Classes granulaires	114
2. Courbes granulométriques	115
3. Forme des granulats	116
4. Propreté	118
5. Masse spécifique - Masse volumique - Densité - Compacité - Porosité	123
6. Nature et qualité	125
6.1 Les granulats courants	128
6.2 Les granulats lourds	129
6.3 Les granulats légers	129
6.4 Les granulats très durs	132
7. Module de finesse d'un granulat	132
8. Foisonnement des sables	135
CHAPITRE VII – L'EAU DE GÂCHAGE	138
1. Convenance	138
2. Essais d'aptitude	139
3. Teneur en chlorures	140
CHAPITRE VIII – LES ADJUVANTS	142
1. Définition	142
2. Classification et utilisation	143
2.1 Plastifiants réducteurs d'eau	143
2.2 Superplastifiants hautement réducteurs d'eau	144
2.3 Rétenteurs d'eau	145
2.4' Entraîneurs d'air	146
2.5 Accélérateurs	148
2.6 Retardateurs	149
2.7 Hydrofuges	149
2.8 Antigels et antigélifs	150
2.9 Produits divers	150
2.10 Exemples d'utilisation	151
3. Précautions à prendre	152
3.1 Essais de convenance	152
3.2 Interactions adjuvant-adjuvant	152
3.3 Dosage	153

LE BÉTON

TROISIÈME PARTIE

ETUDE DES BÉTONS

CHAPITRE IX – FACTEURS D'ÉTUDES ET PROPRIÉTÉS ESSENTIELLES DES BÉTONS.....	159
1. Dimension des granulats.....	159
1.1 <i>Importance de la dimension maximale D.....</i>	159
1.2 <i>Effet de paroi, limite de D.....</i>	160
2. Ouvrabilité.....	161
2.1 <i>L'ouvrabilité, qualité première.....</i>	161
2.2 <i>Mesures et contrôle de l'ouvrabilité.....</i>	162
2.2.1 <i>Affaissement au cône d'Abrams.....</i>	162
2.2.2 <i>Étalement à la table à secousses.....</i>	163
2.2.3 <i>Maniabilimètre LCPC.....</i>	164
2.2.4 <i>Ouvrabilité pour béton armé (test CES).....</i>	165
2.2.5 <i>Plasticimètre à rotation.....</i>	166
2.3 <i>Le dosage en eau, facteur d'ouvrabilité.....</i>	167
2.4 <i>Emploi d'adjuvants.....</i>	170
3. Résistance.....	171
3.1 <i>Essais, mesures et critères de la résistance d'un béton.....</i>	171
3.1.1 <i>Résistance en compression.....</i>	172
3.1.2 <i>Résistance en traction.....</i>	173
3.2 <i>Influence de la qualité du ciment.....</i>	174
3.3 <i>Influence du dosage en ciment et du dosage en eau.....</i>	174
3.3.1 <i>Rapport E/C.....</i>	176
3.3.2 <i>Dosage minimal en ciment.....</i>	178
3.4 <i>Influence de la granularité.....</i>	180
3.5 <i>Importance de l'adhérence mortier-gravier.....</i>	181
3.6 <i>Résistance du béton frais.....</i>	181
3.7 <i>Influence de l'âge sur le durcissement du béton.....</i>	186
3.8 <i>Influence de la température et de l'humidité.....</i>	188
3.9 <i>Résistance caractéristique.....</i>	188
3.10 <i>Résistances moyennes courantes.....</i>	189
3.11 <i>Classification et désignation des bétons.....</i>	190
4. Aspect statistique de la résistance caractéristique.....	190
4.1 <i>Dispersion des résistances.....</i>	190
4.2 <i>Genres de dispersions.....</i>	192
4.3 <i>Lots de béton.....</i>	192
4.4 <i>Cas des bétons certifiés.....</i>	193
4.5 <i>Exemple de contrôle suivi.....</i>	193
5. Retrait.....	195
6. Dilatation.....	197

7	Fluage	198
8	Elasticité	200
9	Effet « Poisson »	201
10.	Corrosion des bétons	201
10.1	<i>Gonflement dû au sulfate</i>	201
10.2	<i>Réaction alcalis-granulats</i>	202
10.3	<i>Carbonatation</i>	203
CHAPITRE X – COMPOSITION ET DOSAGE DES BÉTONS		205
1.	Quelques méthodes de composition des bétons	205
1.1	<i>Méthode de Bolomey</i>	207
1.2	<i>Méthode d'Abrams</i>	207
1.3	<i>Méthode de Faury</i>	208
1.4	<i>Méthode de Valette</i>	210
1.5	<i>Méthode de Joisel</i>	211
2.	Recherches concernant la composition des bétons	212
2.1	<i>Données essentielles de base</i>	214
2.1.1	<i>Dimension des granulats</i>	214
2.1.2	<i>Résistance désirée</i>	214
2.1.3	<i>Consistance désirée</i>	214
2.2	<i>Dosage en ciment</i>	214
2.3	<i>Dosage en eau</i>	215
2.4	<i>Dosage des granulats</i>	215
2.4.1	<i>Composition théorique de référence</i>	215
2.4.2	<i>Choix de graduation du graphique</i>	216
2.4.3	<i>Fuseaux granulaires réels</i>	216
2.4.4	<i>Coordonnées du point de brisure de la composition moyenne de référence</i>	221
2.4.5	<i>Cas particulier des micro-bétons</i>	229
2.4.6	<i>Coefficient de compacité</i>	230
2.4.7	<i>Calcul de la composition granulaire de référence</i>	233
2.5	<i>Essai d'étude</i>	233
2.6	<i>Essai de convenance</i>	235
2.7	<i>La durabilité, facteur complémentaire dans l'étude de la composition des bétons</i> ...	235
3.	Méthode pratique pour la composition des bétons	237
3.1	<i>Données de base</i>	237
3.1.1	<i>Nature de l'ouvrage</i>	237
3.1.2	<i>Résistance souhaitée</i>	237
3.1.3	<i>Consistance désirée</i>	238
3.2	<i>Dimension maximale des granulats</i>	238
3.3	<i>Dosage en ciment</i>	239
3.4	<i>Dosage en eau</i>	241
3.5	<i>Qualité des granulats</i>	244
3.6	<i>Tracé de la courbe granulaire de référence</i>	245
3.7	<i>Coefficient de compacité</i>	249
3.8	<i>Dosage des granulats</i>	251
3.9	<i>Essais d'études - Corrections - Cas des gros bétons</i>	251

3.10	<i>Exemples pratiques</i>	253
3.10.1	Premier exemple : béton binaire continu D = 20 mm.	253
3.10.2	Deuxième exemple : béton ternaire discontinu D = 50 mm.	257
3.10.3	Troisième exemple : micro-béton	259
3.11	<i>Cas particuliers des bétons de granulats légers pour structures</i>	262
3.11.1	Énoncé du problème. Définition des données principales retenues	263
3.11.2	Choix du sable.....	263
3.11.3	Choix des granulats	263
3.11.4	Eau totale et eau ajoutée	264
3.11.5	Détermination du rapport C/E.....	266
3.11.6	Détermination du dosage en ciment C.....	267
3.11.7	Détermination du rapport G/S.....	268
3.11.8	Compacité	268
3.11.9	Détermination des dosages en graviers et en sable	268
3.11.10	Ajustement de la formule au mètre cube	269
3.11.11	Essais d'étude.....	270
3.11.12	Densité caractéristique	270
3.11.13	Exemple.....	271
3.12	<i>Une méthode simplifiée pour la composition des bétons d'usage courant</i>	275
3.13	<i>Tolérances sur les dosages</i>	282
3.14	<i>Abaque pratique de dosage des bétons courants</i>	283
3.15	<i>Composition volumétrique des bétons courants</i>	284

QUATRIÈME PARTIE

FABRICATION, MISE EN ŒUVRE ET CONTRÔLE DES BÉTONS

CHAPITRE XI – FABRICATION ET TRANSPORT	287
1. Approvisionnement des matériaux	287
1.1 <i>Stockage des granulats</i>	287
1.2 <i>Stockage du ciment</i>	287
1.3 <i>Approvisionnement de la bétonnière</i>	287
2. Malaxage	288
2.1 <i>Les malaxeurs</i>	288
2.2 <i>Les bétonnières</i>	288
2.3 <i>Vitesse et durée de malaxage</i>	288
2.4 <i>Volumes des malaxeurs et bétonnières</i>	289
2.5 <i>Tolérances sur les dosages</i>	290
3. Transport	291
4. Pompage	291
5. Bétons prêts à l'emploi préparés en usine	293
5.1 <i>Caractères normalisés communs aux BCN et BCS</i>	294
5.2 <i>Classes d'environnement</i>	296
5.3 <i>Notion de liant équivalent</i>	298
5.4 <i>Dosage des constituants</i>	299
5.5 <i>Mélange des constituants et transport du béton</i>	300

5.6	<i>Résistance à la compression</i>	301
5.7	<i>Bétons chauds</i>	303
5.8	<i>Attribution de la marque NF</i>	303
5.9	<i>Bons de livraison</i>	304
CHAPITRE XII – MISE EN ŒUVRE		305
1	Généralités	305
2	Vibration	305
3	Ségrégation	310
4	Joints de reprise	311
5	Parements	311
5.1	<i>Facteurs divers</i>	312
5.2	<i>Cas des bétons de grande masse</i>	312
5.3	<i>Traitements de surface</i>	312
5.4	<i>Quelques remarques importantes</i>	314
6	Cure du béton	314
7	Collage du béton	316
8	Bétonnage par temps froid	316
9	Bétonnage par temps chaud	319
10.	Bétonnage sous l'eau	320
11.	Bétonnage à la mer	323

CINQUIÈME PARTIE

BÉTONS SPÉCIAUX & NORMALISATION

CHAPITRE XIII – BÉTONS SPÉCIAUX		327
1.	Bétons hautes performances	327
1.1	<i>Fumées de silice</i>	328
1.2	<i>Composition des bétons</i>	328
1.3	<i>Résistances</i>	329
1.4	<i>Plasticité</i>	329
1.5	<i>Elasticité</i>	330
1.6	<i>Retrait</i>	330
1.7	<i>Fluage</i>	331
1.8	<i>Tenue au gel</i>	331
1.9	<i>Utilisations</i>	331
2.	Les bétons du futur	332
3.	Bétons de granulats légers	333
3.1	<i>Généralités</i>	334
3.2	<i>Composition</i>	335

3.3	<i>Fabrication et mise en œuvre</i>	336
3.4	<i>Propriétés et caractéristiques des bétons légers</i>	338
4.	Bétons cellulaires	342
5.	Applications des bétons légers	343
6.	Bétons lourds	344
6.1	<i>Principaux granulats employés</i>	344
6.2	<i>Composition, dosages, résistances</i>	344
6.3	<i>Fabrication et mise en œuvre</i>	345
7.	Bétons à base de résine	346
7.1	<i>Les résines</i>	346
7.2	<i>Dosage</i>	346
7.3	<i>Résistances</i>	346
7.4	<i>Elasticité, fluage</i>	347
8.	Bétons chauffés	347
9.	Bétons moulés dans le sol	351
9.1	<i>Principe</i>	351
9.2	<i>Qualité du béton</i>	351
9.3	<i>Paroi d'étanchéité</i>	352
10.	Bétons réfractaires - Résistance au feu	352
11.	Bétons de fibres	353
11.1	<i>Fibres métalliques en acier</i>	354
11.2	<i>Fibres en fonte</i>	356
11.3	<i>Fibres de polypropylène</i>	356
11.4	<i>Fibres de verre</i>	357
12.	Bétons projetés	358
13.	Bétons de latérite	360
14.	Bétons caverneux - Fabrication et composition	361
CHAPITRE XIV – CONTRÔLE DES BÉTONS		362
1.	Moules et éprouvettes	365
1.1	<i>Moules et éprouvettes cylindriques</i>	365
1.2	<i>Moules et éprouvettes prismatiques</i>	365
1.3	<i>Moules et éprouvettes cubiques</i>	366
2.	Différents types d'essais de contrôle	366
2.1	<i>Essais d'étude, de convenance et de contrôle</i>	367
2.2	<i>Essais d'information</i>	368
2.3	<i>Contrôles non destructifs</i>	370
2.4	<i>Essais de détection</i>	372
3.	Plan d'assurance qualité	373
4.	Confection des éprouvettes	374
4.1	<i>Mode de prélèvement et échantillonnage du béton</i>	374
4.2	<i>Mise en place par aiguille vibrante</i>	375
4.3	<i>Mise en place par piquage</i>	382

5. Nombre d'éprouvettes et critères de conformité	382
5.1 Dossier d'étude d'un béton	382
5.2 Dossier de contrôle du béton	382
5.3 Critère de consistance	389
6. Définition et exécution des essais	389
6.1 Généralités et dispositions communes	389
6.2 Essai de compression	390
6.3 Essai de traction par flexion	391
6.4 Essai de traction par fendage	392
6.5 Essai de traction directe	393
7. Influence de la dimension des éprouvettes	393
8. Cas particulier des gros bétons	395
8.1 Dimensions des éprouvettes cylindriques	395
8.2 Mesure de la consistance	396
8.3 Mesure de la résistance	397
CHAPITRE XV – NORMALISATION	398
1. Normes relatives aux liants	398
2. Normes relatives aux granulats	400
3. Normes relatives aux adjuvants	402
4. Normes relatives aux bétons	403