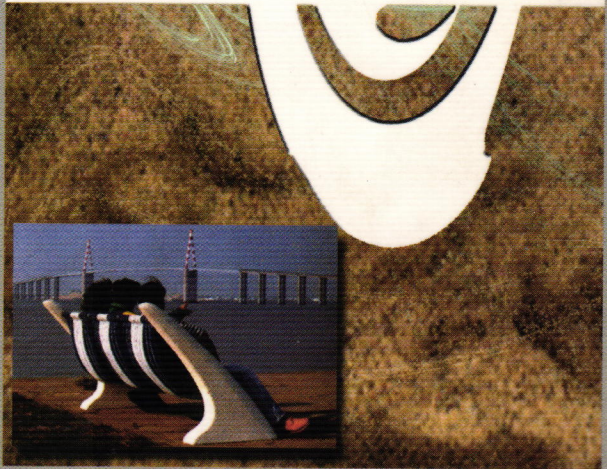


LES COURS DE L'ENTPE

Gilles  
CHANVILLARD

**Le matériau béton :  
Connaissances générales**



ENTPE  
ALÉAS



## La couverture est due à Bruno GUILLAUME

L'ensemble des documents illustrant le présent livre a fait l'objet d'une demande de reproduction auprès des organismes ou éditeurs cités en référence. Si malgré nos soins attentifs, l'une d'entre elles n'était pas parvenue au destinataire, qu'il veuille nous en informer.

ISBN 2-84301-012-8

© ALEAS EDITEUR, octobre 1999

Siège social : *Aléas Editeur*, 15 Quai Lassagne - 69001 LYON

Direction : Maurice GLAYMANN et Pascal VERCHERY

*l'Ami du Livre*, l'Éditeur Audacieux et Sagace

# SOMMAIRE

## CHAPITRE 1

### PRESENTATION GENERALE DES CIMENTS ET BETONS

<b>1.- LES MATERIAUX DE CONSTRUCTION</b>	11
1.1.- Matériau et création	11
1.2.- Les matériaux traditionnels	11
1.2.1.- La terre crue	12
1.2.2.- La pierre	14
1.2.3.- Le bois	15
1.3.- Les liants	16
1.3.1.- Le plâtre	16
1.3.2.-La chaux	17
1.3.3.- Le ciment Romain	18
<b>2.- LE MATERIAU BETON</b>	19
2.1.- Le ciment hydraulique	19
2.2.- Historique du béton	21
2.3.- Evolution de la formulation du béton	23
2.4.- Malaxage et mise en œuvre	24
<b>3.- EVOLUTION DU BETON DE STRUCTURE</b>	25
3.1.- Les performances mécaniques	25
3.2.- Une évolution matérielle rapide	26
3.3.- Le béton aujourd'hui	26
3.4.- Les bétons de demain	28
<b>4.- QUELQUES CONSIDERATIONS ECONOMIQUES</b>	29
4.1.- Données sur les ciments et bétons	29
4.2.- Données sur les granulats	31
4.3.- Coût d'un béton	31
<b>5.- PRESENTATION DU DOCUMENT</b>	33
5.1.- Introduction	33
5.2.- Chapitre 2 : Le béton comme un empilement compact de grains	34
5.3.- Chapitre 3 : Le béton : un empilement compact fluide puis résistant	34
5.4.- Chapitre 4 : Du béton frais au béton durci : l'hydratation	35
5.5.- Chapitre 5 : Le comportement du béton : matériau et structure	36
5.6.- Chapitre 6 : Le béton : un matériau durable	36
5.7.- Chapitre 7 : Approche de la formulation d'un béton	37

## CHAPITRE 2

### LE BETON COMME UN EMPILEMENT COMPACT DE GRAINS

<b>1. L'EMPILEMENT DES GRAINS</b>	39
1.1.- Notion de compacité	39
1.2.- Cas d'un mélange binaire	40

1.3.- Du mélange binaire au squelette granulaire d'un béton	42
<b>2.- LES GRANULATS</b>	43
2.1.- Présentation générale	43
2.2.- Propriétés essentielles	44
2.3.- La granulométrie	44
2.4.- La finesse du sable	46
2.5.- Propriétés des granulats	47
2.6.- Densité des granulats	47
<b>3.- LE CIMENT PORTLAND ARTIFICIEL</b>	48
3.1.- Matières premières et composition type d'un ciment portland	48
3.2.- Notions élémentaires sur la fabrication du ciment portland artificiel	49
3.2.1.- Cuisson du cru et élaboration du clinker	49
3.2.2.- Du clinker au ciment portland	51
3.3.- Caractérisation du ciment	52
<b>4.- LES FINES COMPLEMENTAIRES OU ADDITIONS MINERALES</b>	54
4.1.- Les laitiers vitrifiés moulus granulé de haut fourneau	54
4.2.- Les cendres volantes	55
4.3.- Les additions calcaires	56
4.4.- Les fumées de silice	57
<b>5.- CLASSIFICATION DES CIMENTS</b>	57
5.1.- Les différents types de ciments	57
5.2.- Masse volumique d'un ciment	59
5.3.- Performances mécaniques des ciments	59
5.4.- Exemple de dénomination de ciments	60

## **CHAPITRE 3**

### **LE BETON :**

### **UN EMPILEMENT COMPACT FLUIDE PUIS RESISTANT**

<b>1.- L'EAU DE GACHAGE</b>	63
1.1.- Les spécifications sur l'eau	63
1.2.- Les rôles de l'eau	64
<b>2. L'EAU ET LA CONSISTANCE D'UN BETON</b>	65
2.1.- Notion de consistance	65
2.2.- Consistance d'un béton ordinaire	66
2.2.1.- Notion d'air occlus	66
2.2.2.- L'eau et l'empilement granulaire	67
2.2.3.- Influence de la taille du plus gros granulats	68
2.3.- Consistance d'un béton à hautes performances	69
2.3.1.- Les mécanismes de floculation	69
2.3.2.- Les adjuvants défloculants	71
2.3.3.- Influence de la défloculation	71
2.3.4.- Spécificités rhéologiques des bétons défloculés.	72
2.4.- La consistance dans le temps et les propriétés associées	73
<b>3.- NOTION DE RESISTANCE</b>	74

## CHAPITRE 4

### DU BETON FRAIS AU BETON DURCI : L'HYDRATATION

<b>1.- LES MECANISMES D'HYDRATATION</b>	77
<b>2.- ASPECT CHIMIQUE</b>	77
2.1.- Mécanismes généraux de l'hydratation	77
2.2.- Le silicate tricalcique (C3S)	78
2.3.- L'aluminate tricalcique (C3A) et le gypse	79
2.4.- Le silicate dicalcique (C2S)	80
2.5.- L'alumino ferrite tétracalcique (C4AF)	81
2.6.- La réaction pouzzolanique	81
<b>3.- ASPECT PHYSIQUE</b>	81
3.1.- La microstructure à une heure	82
3.2.- La microstructure à deux heures	83
3.3.- La microstructure à cinq heures	83
3.4.- La microstructure à 3 jours	85
3.5.- La microstructure à un mois	86
3.6.- La personnalité des ciments	87
<b>4.- ASPECT MECANIQUE</b>	88
4.1.- Influence de la composition des ciments	88
4.2.- Porosité de la microstructure	90
4.3.- Porosité et résistance	93

## CHAPITRE 5

### LE COMPORTEMENT DU BETON : MATERIAU ET STRUCTURE

<b>1.- LE COMPORTEMENT AU JEUNE AGE</b>	97
1.1.- Notion de prise et facteurs influents	97
1.2.- Influence du rapport E/C	100
1.3.- Influence du ciment	102
1.4.- Influence de la température	103
<b>2.- LE BETON DANS LA STRUCTURE</b>	106
2.1.- Introduction	106
2.2.- Le retrait thermique endogène	106
2.3.- Le retrait hydrique endogène	108
2.4.- Le retrait hydrique exogène	112

## CHAPITRE 6

### LE BETON : UN MATERIAU DURABLE

<b>1.- NOTION DE DURABILITE</b>	115
1.1.- Considérations générales	115
1.2.- Considérations microstructurales	116
1.2.1.- Perméabilité et diffusivité	116



1.2.2.- Morphologie de la porosité	116
1.2.3.- Interface pâte-granulat : l'auréole de transition	118
1.2.4.- Additions minérales et microstructure	119
1.3.- Etat initial de la structure : fissuration précoce	120
1.3.1.- Le ressuage	121
1.3.2.- Le retrait plastique	123
1.3.3.- Les retraits endogènes	124
<b>2.- LES DIVERSES AGRESSIONS</b>	125
2.1.- La carbonatation	125
2.2.- Les chlorures	128
2.3.- La corrosion des armatures	128
2.4.- Durabilité du béton dans un environnement sulfatique	130
2.5.- La durabilité au gel	131
2.5.1.- Le gel en pleine masse	131
2.5.2.- Les adjuvants entraîneur d'air	135
2.5.3.- L'écaillage de surface	136
2.6.- L'alcali-réaction	137

## CHAPITRE 7

### APPROCHE DE LA FORMULATION D'UN BETON

<b>1.- LA FORMULATION DU BETON</b>	141
1.1.- Notions générales sur la formulation	141
1.2.- Données de base pour la formulation	144
<b>2.- CAS D'UN BETON ORDINAIRE</b>	145
2.1.- Détermination de la dimension maximale des granulats	145
2.2.- Détermination de la courbe granulométrique optimale	145
2.3.- Détermination des dosages en eau et air	147
2.3.1.- Notion d'eau efficace	147
2.3.2.- Dosage en eau et consistance visée	148
2.3.3.- Influence de la taille du plus gros granulat	149
2.3.4.- Autres facteurs à prendre en compte	150
2.4.- Détermination du dosage optimal en fines	151
2.5.- Détermination des dosages en ciment et additions minérales	153
2.5.1.- Notion de résistance cible	153
2.5.2.- Prise en compte de l'activité des additions	155
2.5.3.- Exemple de calcul de la résistance moyenne	155
2.6.- Prise en compte des prescriptions relatives à la durabilité	156
<b>3.- CAS DES BETONS A HAUTES PERFORMANCES</b>	159
3.1.- Les limites du béton ordinaire	159
3.2.- Approche de la compacité des BHP	160
3.3.- Approche du dosage en eau des BHP	161
3.4.- Du BHP au BTHP	162
<b>4.- QUELQUES EXEMPLES DE FORMULATION DU BETON</b>	163
4.1.- Exemple 1 : béton de bâtiment	163
4.2.- Exemple 2 : béton d'ouvrage type mur de soutènement	165
4.3.- Exemple 3 : béton prêt à l'emploi très plastique	167
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	171
<b>INDEX</b>	173