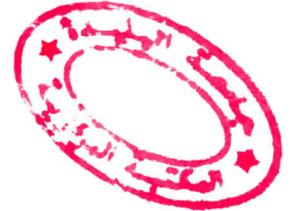


RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ DE BLIDA
INSTITUT DE GÉNIE CIVIL



Mémoire de Magister
Spécialité : Génie Civil
Option : Constructions Civiles et Industrielles

**CONTRIBUTION
AUX
POSSIBILITÉS D'AMÉLIORATION DE LA QUALITÉ DU BÉTON**

Par
Amar DERBALA

Présenté devant le jury constitué de :

Dr : M.T. ABADIA, Professeur,	U. Boumerdès, Président.
Dr : M.T BENTEBBA, Maître de conférence,	U. Blida, Examineur.
Dr : N. LARADI, Maître de conférence,	U. Bab-Ezzouar, Examineur.
Dr : A. BRAHMA, Maître de conférence,	U. Blida, Rapporteur.

**BLIDA-ALGERIE
JUILLET - 1999**

DEDICACES

Ce modeste travail est dédié à :

mes défunts mère et père,

la mémoire de mon grand frère,

ma large et grande famille,

mon épouse,

mes chers enfants,

*tous ce qui de près ou de loin et de quelque forme que ce soit
ont contribués à cette réalisation.*

REMERCIEMENTS

Que Monsieur le Docteur A.BRAHMA sache que sans son aide, son soutien permanent tant sur le plan scientifique que moral, ce travail n'aurait pu être ainsi réalisé. Qu'il trouve ici l'expression de ma très profonde gratitude.

Que Monsieur Z.YOUBI, Recteur de l'Université de Blida sache aussi que sans ses démarches et interventions, auprès du P.D.G de l'E.C.B, ce travail n'aurait pu être achevé. Qu'il trouve ici l'expression de ma sincère reconnaissance.

Monsieur M.BOUHALI (P.D.G de l'E.C.B), messieurs Brahim et Abdenour du laboratoire m'ont accueillis dans leur laboratoire, m'ont fait part de leurs observations et précieuses critiques. Qu'ils sachent que j'ai eu beaucoup de plaisir à collaborer avec eux et qu'il trouve ici le témoignage de mon estime.

Monsieur le Vice Recteur chargé de la pédagogie m'a été d'un soutien moral et matériel sans pareil. Je lui exprime ici ma sincère gratitude. TEMMAR tu es formidable.

Monsieur M.R. KHOULI s'est depuis le début de mon travail intéressé à mon état d'avancement, il m'a assisté par tout ce qu'il pouvait. Je lui exprime ici le témoignage de toute ma reconnaissance.

Messieurs M. MILLES et N.BOUFENARA voulaient que j'arrive et je suis arrivé. Je vous suis très reconnaissant.

Messieurs A.RAFED, R.BEN-AISSA, D.BOUMSSIED et A.CHAOUI m'ont été d'une assistance précieuse en informatique. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

Que Monsieur B.MENADI, R.SAHIR, R.LIZLI, A.BENHAFFAF, B.BOUYOUSFI, M. ABDESSALAM veulent bien accepter l'expression de ma profonde gratitude pour leur assistance matérielle et surtout pour leur patience.

Que tous mes collègues enseignants, et de tous les instituts, qui s'inquiétaient réellement pour ma situation trouvent ici l'expression de mon profond respect.

Messieurs, A. et O.FERDJANI, A.HADJ-ARAB, S.KERROUR, M.TARZALI ; un grand merci. ZAHAF ; il faut tenir et grand courage ; tu arriveras.

Mes vifs remerciements vont aussi à tous les membres examinateurs qui m'ont honoré par leur participation dans le jury qui prendra tout le soin à examiner avec attention cette modeste contribution.

RESUME

Toutes les études menées dans le cadre de la pathologie des constructions en béton armé et sur la qualité du béton produit en Algérie convergent vers la même conclusion ; à quelques rares exceptions : les bétons ne répondent pas aux exigences projetées. Les performances obtenues sont très loin de celles prises en compte dans les calculs de béton armé et en particulier par les bureaux d'études en Algérie.

Ceci étant nous avons alors présenté une large étude bibliographique aux chapitres un et deux regroupant les paramètres essentiels qui influent sur la qualité du béton. Nous avons, par la suite tenter de donner un aperçu non exhaustif au chapitre trois, sur la qualité du béton produit en Algérie et plus précisément dans les zones d'Alger, Blida, Tipaza, Tizi-Ouzou, Chlef et Tissemsilt.

Cette analyse a bien montré des insuffisances de performances des bétons. Il est alors bien évident que notre travail s'est orienté vers la recherche d'un béton qui répond aux préoccupations des bureaux d'étude Algérien (béton de résistance caractéristique d'environ 27 MPa).

Pour se rapprocher au mieux de cet objectif nous avons alors visé un mélange bien plein comportant le minimum de vide ; c'est à dire une haute compacité et éventuellement une faible teneur en eau.

Pour que nos résultats soient exploitables, notre investigation a porté sur l'amélioration de la composition habituellement utilisée au niveau de l'entreprise au sein de laquelle nous avons réalisé notre travail (E.C.B de Beni-Mered), (béton ternaire 8/15 et 15/25 et sable fin), et ce de façon à obtenir une composition bien pleine utilisant une classe intermédiaire de gravier 3/8 et en modifiant la finesse du sable. L'apport plus ou moins bénéfique de l'augmentation du dosage en ciment et des adjuvants à été considéré.

Cette étude a montré qu'il est désormais possible d'obtenir de bons résultats en optimisant la formulation des bétons. Les bétons à granulométrie continues se sont avérés les meilleurs.

Il ressort aussi de cette étude que la granularité du sable est un facteur primordial.

ملخص

كل الدراسات المنجزة في إطار تصدعات المباني الخرسانية و نوعية الخرسانة المنتجة في الجزائر تذهب إلى نفس التقارب أو الإستنتاج: بإستثناءات نادرة فإن الخرسانة لا تستجيب إلى المتطلبات المرجوة . هذه النتائج القياسية بعيدة جدًا عن التي تؤخذ بعين الإعتبار في حسابات الخرسانة المسلحة و خصوصًا من قبل مكاتب الدراسات بالجزائر .

بعد هذا ، أستعرضنا في الفصلين الأول و الثاني نتائج بحثًا مرجعيًا يجمع العوامل الأساسية التي تؤثر على نوعية الخرسانة . حاولنا بعد ذلك إعطاء نظرة متواضعة في الفصل الثالث حول نوعية الخرسانة المنتجة في الجزائر و بالخصوص في منطقة الجزائر العاصمة ، البليدة ، تيبازة ، تيزي وزو ، الشلف و تيسمسيلت . على أساس هذا التحليل الذي أظهر بوضوح ضعف النتائج القياسية للخرسانة كان من الطبيعي توجيه عملنا نحو البحث عن خرسانة تستجيب لإنشغالات مكاتب الدراسات الجزائرية (خرسانة ذات إجهاد مميز = 27 MPa) .

للاقترب أكثر من هذه الغاية قصدنا إذن خليطًا ذو إكتزاز عال و قليل الفراغات (إكتزاز عال و نسبة مائية ضعيفة) لأجل أن تكون نتانجنا مستغلة ميدانيًا كان توجهنا منصب على تحسين الخلطة المستعملة عاديًا في المؤسسة التي أجرينا فيها عملنا (مؤسسة البناء بيني مراد) و هي خلطة ثلاثية (حصى 8/15 و 15/25 و رمل دقيق) و هذا للحصول على خلطة مملوءة بإدخال فصيلة متوسطة من الحصى (3/8) و بتغير دقة الرمل . مررنا كذلك بإدخال الشوائب (المسيلات المنقصات للمياه و المؤجلات) و كذا الرفع من تقدير الإسمنت . أظهرت لنا هذه الدراسة أنه بإمكان الحصول على نتائج حسنة وذلك باهتمام الدقيق بالخلائط فقط وأن الخلائط الخرسانية ذات المنخنيات المستمرة تعطي نتائج أحسن . يستنتج كذلك من هذه الدراسة أن دقة الرمل عامل أساسي .

ABSTRACT

All studies conducted in pathology constructions of steel concrete and on the quality of concrete produced in Algeria tend toward the same conclusion; only in rare exceptions: the concrete's do not respond to the intended requirements. The obtained performances are very far of those taking into accounts in the calculation of steel concrete and in particular by the Algerian study offices.

We have presented a large bibliographic survey in chapters one and two regrouping the essential parameters which influence the quality of concrete. We have, thereafter, attempt to give a preview no exhaustive in chapter three, on the quality of concrete produced in Algeria and more precisely in the zones of Algiers, Blida, Tipaza, Tizi-Ouzou, Chlef and Tissemsilt.

This analysis has showed some insufficiencies of performances of the concrete. It is then evident that our work is oriented toward the research on concrete which responds to the preoccupations of the Algerian study offices (concrete with 27 MPa as strength characteristic).

In order to correctly approach this objective, we have focused our attention to a full mixture including the minimum of emptiness; that is a high compact and eventually a poor content in water.

In order to exploit our results, our investigation was carried on the improvement of the composition usually used in the factory in which we have achieved our work (E.C.B of Beni-Mered), (ternary concrete 8/ 15 and 15/ 25 and thin sand), and this to obtain a complete composition using an intermediate class of gravel 3/ 8 and in modifying the sharpness of sand. The beneficial increase of dosage in cement and some adjutants are considered.

This survey has showed that it is possible to obtain a good results in optimising the concrete formulation. The concrete's with continuous granularity are averred to be the best.

It also comes out of this survey that the granularity of sands is a primordial factor.

TABLE DES MATIERES

RESUME.....	iii
LISTE DES FIGURES.....	viii
LISTE DES TABLEAUX.....	xii

INTRODUCTION GENERALE

GENERALITES :.....	1
OBJECTIF DE LA RECHERCHE :.....	2
PLAN DE TRAVAIL :.....	2

CHAPITRE I : QUALITES ESSENTIELLES DU BETON

I-1 GENERALITES :.....	4
I-2 OUVRABILITE :.....	5
I-3 COMPACITE :.....	7
I-3-1 Définition.....	7
I-3-2 Porosité et compacité.....	8
I-3-3 Relation entre la compacité et les propriétés du béton.....	10
I-3-4 Influence de la composition du béton sur la compacité.....	11
I-4 PERMEABILITE :.....	11
I-5 DURABILITE :.....	12
I-5-1 Durabilité et qualité.....	12
I-5-2 Les facteurs influants de la durabilité.....	13
I-5-3 La recherche d'un béton durable.....	22
I-5-4 Le vieillissement du béton.....	24

I-6	RESISTANCE :.....	24
I-6-1	Moules et éprouvettes utilisés.....	24
I-6-2	Contrainte de rupture en compression.....	27
I-6-3	La résistance en traction.....	28
 CHAPITRE II : FACTEURS INFLUANTS SUR LES QUALITES ESSENTIELLES DU BETON		
II-1	GENERALITES :.....	29
II-2	FACTEURS INTRINSEQUES :.....	30
II-2-1	Généralités.....	30
II-2-2	Les granulats.....	30
II-2-3	Les ciments.....	44
II-2-4	L'eau.....	49
II-2-5	Influence du rapport E/C.....	50
II-2-6	Influence du rapport G/S.....	57
II-2-7	Influence du rapport G/C.....	59
II-3	FACTEURS DE MISE EN ŒUVRE :.....	60
II-3-1	Les adjuvants.....	60
II-3-2	Diverses étapes de confection des bétons.....	66
II-4	FACTEURS D'AMBIANCE ET DE CONSERVATION :.....	77
II-4-1	La cure du béton.....	77
II-5	LE TRAITEMENT THERMIQUE DES BETONS :.....	83
II-5-1	Types de traitements thermiques.....	84
II-5-2	Influence des conditions de traitement sur les qualités ultérieures du béton.....	87
II-5-3	La préprise du béton.....	91
II-5-4	La prévision des résistances.....	92
II-5-5	Quelques travaux sur le traitement thermique.....	93
II-5-6	Conclusion.....	95

II-6	BETONNAGE PAR TEMPS FROID :	96
II-6-1	Effet du temps froid sur le béton.....	97
II-6-2	Prédurcissement du béton.....	98
II-6-3	Durée d'attente avant décoffrage.....	98
II-6-4	Précautions particulières de bétonnage par temps froid.....	99
II-7	LE BETONNAGE PAR TEMPS CHAUD :	102
II-7-1	Effet du climat sur l'ouvrabilité.....	104
II-7-2	Influence simultanée de la température et de l'humidité sur l'ouvrabilité du béton.....	106
II-7-3	Recommandations pour bétonner par temps chaud.....	107

CHAPITRE III : APERCU SUR LA QUALITE DU BETON PRODUIT

III-1	GENERALITES :	108
III-2	DISTRIBUTION DES RESISTANCES :	109
III-3	ANALYSE DES RESULTATS :	112
III-3-1	L'écart type	113
III-3-2	Le coefficient de variation.....	114
III-3-2	Récapitulatif des résultats obtenus précédemment pour la région centre.....	115
III-4	APERCU SUR LA QUALITE DU BETON DANS D'AUTRES REGIONS D'ALGERIE:.....	117
III-4-1	Remarques concernant les zones précitées.....	118
III-5	CONCLUSION:.....	119

CHAPITRE IV : POSSIBILITES D'AMELIORATION DE LA QUALITE DU BETON

IV-1	INTRODUCTION :	121
IV-2	METHODES DE COMPOSITION DES BETONS (FORMULATION) :	121
IV-3	MATERIAUX UTILISES :	122
IV-3-1	Présentation	122
IV-3-2	Le liant	125

IV-3-3 Autres produits (Adjuvants).....	125
IV-4 CONFECTION DES EPROUVETTES :.....	125
IV-4-1 Préparation des mélanges.....	125
IV-4-2 Mise en place du béton dans les moules	126
IV-5 CONSERVATION :.....	126
IV-6 TYPE D'ESSAI REALISES :.....	126
IV-7 DIFFERENTS BETONS ETUDIES :.....	127
IV-7-1 Béton type A	127
IV-7-2 Béton type B	135
IV-7-3 Béton type C	149
IV-7-4 Béton type D	151
IV-7-5 Béton type E	153
IV-7-6 Béton type F	156
IV-8 RECAPITULATIF :.....	158
IV-9 DISCUSSION :.....	162

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

1 CONCLUSION :.....	164
2 RECOMMANDATIONS :.....	167

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.

ANNEXE 1 : La méthode de DREUX ET GORISSE.

ANNEXE 2 : Fiches techniques des deux adjuvants utilisés.

LISTES DES FIGURES

Figure N°	Titre	Page
I-1	: Evolution de la carbonatation en fonction du dosage en ciment du béton...	19
I-2	: Incidence de l'humidité relative de l'air sur la vitesse de carbonatation.....	20
II-1	: Influence du diamètre maximal des granulats sur la résistance à la compression du béton à 28 jours.....	34
II-2	: Retrait et gonflement des bétons confectionnés avec différents granulats..	35
II-3	: Résistance du béton en fonction de l'équivalent de sable.....	38
II-4	: Domaine de variation des résistances du béton en fonction de l'équivalent de sable.....	38
II-5	: Variation de la résistance en compression, de la porosité et de l'eau en fonction du module de finesse.....	40
II-6	: Variation de la plasticité en fonction du module de finesse à dosage en eau constant.....	41
II-7	: Perméabilité mesurée par écoulement de kérosène sous pression (20 bars) et pendant une heure (un dosage en ciment de 350 kg/m ³) et un affaissement constant.....	42
II-8	: Relation approximative entre le module de finesse de sable et la résistance en compression du béton.....	42
II-9	: Influence de la nature du ciment sur l'évolution des résistances en compression.....	45
II-10	: Résistance en compression d'un béton en fonction de la finesse du ciment.....	46
II-11	: Courbes de résistance à la compression jusqu'à 28 jours de béton dosés de 200 à 450 kg/m ³	47
II-12	: Schéma de l'influence de la teneur en eau sur la cohésion.....	51
II-13	: Exemple de l'influence de la teneur en eau et en ciment sur l'affaissement au cône.....	51
II-14	: Résistance à la compression sur cylindre en fonction du rapport eau/ciment.....	52

II-15 : Développement de la contrainte du béton avec différents E/C.....	53
II-16 : Exemple de résistances d'un béton moyen en fonction de la classe du ciment et du rapport eau/ciment.....	54
II-17 : Abaque permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport C/E et de l'ouvrabilité désirée (affaissement au cône).....	56
II-18 : Résistance à la compression en fonction du rapport gravier/sable (G/S)...	57
II-19 : Influence du rapport G/C sur la résistance du béton.....	59
II-20 : Résistance en compression de deux bétons ; un béton témoin sans adjuvant et un béton avec fluidifiant.....	62
II-21 : Apport d'un fluidifiant sur l'ouvrabilité d'un béton routier.....	63
II-22 : Effet d'un adjuvant superplastifiant sur l'ouvrabilité du béton.....	64
II-23 : Schéma de l'influence comparée d'un accélérateur et d'un retardateur sur l'évolution des résistances.....	65
II-24 : Relation entre la résistance à la compression simple à 28 jours et le temps de malaxage (à maniabilité constante $12\text{ s} \pm 2\text{ s}$), d'après Boussion et Brunet.....	67
II-25 : Effet du retrempering sur les résistances du béton.....	70
II-26 : Exemple de relation entre le temps de vibration et la fréquence.....	74
II-27 : Influence du mode de serrage sur les résistances et en fonction des rapports eau/ciment.....	75
II-28 : Exemple de ressuage sous vibration d'un béton en fonction de la teneur en eau et en ciment.....	76
II-29 : Influence de la chaleur sur l'évolution de la résistance à la compression du béton.....	79
II-30 : Influence des faibles températures sur l'évolution de la résistance à la compression du béton.....	80
II-31 : Influence des conditions de cure sur la résistance à la compression du béton.....	82
II-32 : Influence de la température maximale sur les résistances en compression à long terme.....	88

II-33 : Influence de la vitesse d'élévation de la température sur la résistance d'un béton chauffé à 70 et à 90 °C (rapport E/C = 0.50).....	89
II-34 : Influence de la vapeur sur les résistances à long terme.....	90
II-35 : Exemple de courbes pouvant être construites à partir des données expérimentales et permettant l'évaluation du temps et de la température pour obtenir une résistance donnée au démoulage.....	92
II-36 : Influence des faibles températures sur le temps de prise.....	96
II-37 : Evolution des résistances en compression à 5° et 20 °C.....	97
II-38 : Effets des températures élevées sur la résistance en compression à 1 et à 28 jours.....	102
II-39 : Augmentation du dosage en eau en fonction de la température.....	103
II-40 : Exemple de la quantité d'eau de gâchage d'un béton moyen en fonction de la température (à plasticité égale).....	105
II-41 : Influence de l'humidité relative de l'air sur l'ouvrabilité du béton.....	106
III-1 : Distribution des résistances à 28 jours en % dans les classes de résistance I, II, III et IV dans la région centre.....	110
III-2 : Distribution des résistances à 28 jours en % dans les classes de résistance I, II, III et IV pour chacune des trois wilayas.....	112
IV-1 : Courbes granulaires des sables utilisés dans la manipulation.....	123
IV-2 : Courbes granulaires des trois graviers utilisés dans la manipulation...	124
IV-3 : Courbe granulaire du mélange (béton type A).....	128
IV-4 : Evolution de la résistance à la compression du béton A1	130
IV-5 : Evolution de la résistance à la compression des bétons A1 et A2	132
IV-6 : Evolution de la résistance à la compression du béton A3	134
IV-7 : Evolution de la résistance à la compression des bétons A2 et A3	134
IV-8 : Courbe granulaire du mélange (béton type B).....	137
IV-9 : Evolution de la résistance à la compression des bétons A2 et B1	138
IV-10 : Evolution de la résistance à la compression des bétons B1 et B2	140
IV-11 : Evolution de la résistance à la compression des bétons B1, B2 et B3 ...	142
IV-12 : Evolution de la résistance à la compression des bétons B1 et B4	144

IV-13 : Evolution de la résistance à la compression des bétons B4 et B5	146
IV-14 : Evolution de la résistance à la compression des bétons B1 , B2 et B6 ..	148
IV-15 : Evolution de la résistance à la compression des bétons A2 et C	150
IV-16 : Evolution de la résistance à la compression des bétons C et D	152
IV-17 : Evolution de la résistance à la compression des bétons A3 , C et E	155
IV-18 : Evolution de la résistance à la compression des bétons D , E et F	157

LISTES DES TABLEAUX

Tableau N°	Titre	Page
I-1	: Appréciation de la consistance du béton en fonction de l'affaissement au cône.....	6
I-2	: Relation entre compacité, porosité et qualité du béton.....	9
I-3	: Mécanismes liés aux différentes phases de déformation.....	16
I-4	: Facteurs influants sur chacune des phases de déformation du béton.....	17
I-5	: Critères essentiels du béton durable.....	23
I-6	: Dimensions de fabrication des moules et éprouvettes cylindriques.....	25
I-7	: Coefficients reliant les résistances d'un même béton et de moules différents.....	25
I-8	: Dimensions de fabrication des moules et éprouvettes prismatiques.....	26
I-9	: Dimensions de fabrication des moules et éprouvettes cubiques.....	26
I-10	: Coefficients reliant les résistances d'un même béton et de moules différents.....	27
II-1	: Classification des bétons en fonction de la grosseur des granulats.....	31
II-2	: Dimension admissible D pour les plus gros granulats.....	33
II-3	: Relation entre la valeur de Dmax. et l'épaisseur d'enrobage.....	34
II-4	: Valeurs préconisées pour l'équivalent de sable.....	37
II-5	: Influence qualitative des paramètres d'état de surface sur la facilité de mise en œuvre du béton et l'adhérence pâte-granulats.....	43
II-6	: Influence du dosage en ciment sur le retrait du béton.....	48
II-7	: Quantités maximales de matières en suspension et de sels autorisées dans l'eau de gâchage.....	50
II-8	: Principales qualités du béton en fonction du rapport G/S.....	58
II-9	: Rôles et utilisation des principaux adjuvants.....	61

II-10 : Caractéristiques des vibrateurs de coffrages externes.....	72
II-11 : Valeurs du coefficient de ferrailage.....	73
II-12 : Valeurs du coefficient d'angularité.....	74
II-13 : Influence de l'hygrométrie de conservation sur la résistance.....	81
II-14 : Coefficient de correction pour le maintien sous coffrages par basses températures.....	99
II-15 : Précautions pour bétonner par temps froid.....	101
II-16 : Effet de la température sur l'ouvrabilité du béton.....	104
II-17 : Changement de l'ouvrabilité en fonction de la température.....	105
II-18 : Recommandations pour bétonner par temps chaud.....	107
III-1 : Répartition du nombre d'écrasement d'éprouvettes.....	109
III-2 : Répartition du nombre d'éprouvettes par zone et par année.....	109
III-3 : Classification des bétons par classe de résistance.....	109
III-4 : Résultats en pourcentage des classes de résistances par wilaya.....	111
III-5 : Résultats d'essais obtenus dans la région centre de 1988 à 1995.....	113
III-6 : Appréciation de la qualité du béton selon l'écart type.....	113
III-7 : Coefficients de variation pour la région centre de 1988 à 1995.....	114
III-8 : Valeurs usuelles du coefficient de variation.....	115
III-9 : Résultats obtenus pour la région centre de 1988 à 1995.....	116
III-10 : Caractéristiques du béton dans la région centre de 1988 à 1995.....	116
III-11 : Résistances moyennes pour les régions Est et Ouest.....	117
III-12 : Ecart types pour les régions Est et Ouest.....	118
III-13 : Coefficients de variation C.V pour les régions Est et Ouest.....	118
IV-1 : Composition du béton A1	129
IV-2 : Résultats d'écrasement du béton A1	129
IV-3 : Composition du béton A2	131

IV-4 : Résultats d'écrasement du béton A2	131
IV-5 : Composition du béton A3	133
IV-6 : Résultats d'écrasement du béton A3	133
IV-7 : Composition du béton B1	136
IV-8 : Résultats d'écrasement du béton B1	136
IV-9 : Composition du béton B2	139
IV-10 : Résultats d'écrasement du béton B2	139
IV-11 : Composition du béton B3	141
IV-12 : Résultats d'écrasement du béton B3	141
IV-13 : Composition du béton B4	143
IV-14 : Résultats d'écrasement du béton B4	143
IV-15 : Composition du béton B5	145
IV-16 : Résultats d'écrasement du béton B5	145
IV-17 : Composition du béton B6	147
IV-18 : Résultats d'écrasement du béton B6	148
IV-19 : Composition du béton C	150
IV-20 : Résultats d'écrasement du béton C	150
IV-21 : Composition du béton D	152
IV-22 : Résultats d'écrasement du béton D	152
IV-23 : Composition du béton E	154
IV-24 : Résultats d'écrasement du béton E	154
IV-25 : Composition du béton F	156
IV-26 : Résultats d'écrasement du béton F	156
IV-27 : Compositions des bétons étudiés.....	159
IV-28 : Résultats d'écrasement des éprouvettes des différents types de bétons étudiés.....	160
IV-29 : Classement par ordre décroissant des performances des bétons étudiés et les types de matériaux desquels sont composés ces bétons.	162

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

GENERALITES :

Le béton est un mal-aimé : En effet, les journalistes évoquent volontiers « l'univers de béton » pour désigner des ensembles de logements construits en trop grandes séries au lendemain de la guerre. Le béton est devenu, pour les écologistes d'abord, puis pour le grand public, le symbole de la destruction de la nature par l'homme.

Malgré cette critique contre le béton il constitue encore l'un des éléments essentiels de notre civilisation : son utilisation étant universelle aujourd'hui.

Paradoxalement, les caractéristiques du béton sont assez mal connues, et ses possibilités, largement sous-estimées : on ignore parfois que, moyennant un choix et un dosage convenables de ses composants, le béton peut voir ses propriétés profondément modifiées, de façon à mieux répondre à nos besoins.

La connaissance de toutes les caractéristiques du béton est loin d'être complète car l'étude de ce matériau, poreux et hétérogène à toutes les échelles est loin d'être facile. De plus la structure au niveau moléculaire change irréversiblement avec l'hygrométrie, la température et la charge appliquée.

Le présent travail comme plusieurs autres travaux montrent que ce n'est pas seulement le ciment et sa qualité qui entrent en jeu dans la valeur ou la qualité d'un béton, mais qu'il faut tenir compte également de la composition et de la nature du sable, de la quantité d'eau de gâchage ainsi que du mode de confection et des conditions pratiques de leur mise en œuvre sur chantier.

Ce n'est qu'en examinant avec soin chacun des facteurs influents sur la qualité du béton, pour lesquels nous avons consacré tout un chapitre, que nous pourrons, peut être, arriver à confectionner un béton dont les caractéristiques seront celles recherchées.

Ce travail consacré à des bétons d'usage courant s'intéresse essentiellement à la résistance à la compression qui constitue, "dans l'état actuel des connaissances et de la technologie", la valeur la plus significative pour caractériser la qualité générale du béton [7].

OBJECTIF DE LA RECHERCHE :

L'objectif est donc d'obtenir des bétons à contraintes caractéristiques satisfaisant la valeur utilisée par les bureaux d'études algériens et qui est prise égale à environ 27 MPa dans les calculs.

Ce travail s'est donc orienté vers la recherche d'une formulation d'un béton, qui est une parmi plusieurs possibilités, pour l'atteinte de cet objectif.

Le travail se voulant proche des conditions pratiques de réalisation, le choix des matériaux s'est fait en conséquence, à savoir des ciments commerciaux et des granulats classiques habituellement utilisés par l'entreprise de construction de Beni-Mered (E.C.B).

Les effets des variations du dosage en ciment, du type de cure, de la teneur en eau E/C et de l'utilisation d'adjuvants étés aussi parmi nos centres d'intérêt.

Afin d'arriver à des conclusions que nous avons jugées satisfaisantes et exploitables en pratique, il a été nécessaire de réaliser un grand nombre d'éprouvettes pour confectionner des bétons de compositions différentes en agrégats, en teneur en eau, en dosage en ciment et en présence ou non d'adjuvants.

PLAN DE TRAVAIL :

Dans le premier chapitre nous donnons les quelques qualités essentielles d'un béton, à savoir : l'ouvrabilité, la compacité, la perméabilité, la durabilité et bien éventuellement la résistance.

Dans le deuxième chapitre nous avons porté les facteurs qui peuvent influencer sur ces qualités essentielles du béton. Ces facteurs sont classés dans les trois catégories distinctes qui suivent :

- Les facteurs intrinsèques relatifs à la constitution du béton ;
- Les facteurs de mise en œuvre (adjuvantation, moyen de fabrication, de mise en œuvre et de transport) ;
- Les facteurs d'ambiance et de conservation.

Nous avons jugé utile de présenter les résultats de quelques travaux intéressants ces facteurs.

Nous avons alors voulu faire de ce chapitre une référence ou bien une base bibliographique.

Dans un troisième chapitre nous avons tenté de montrer la nécessité de l'amélioration du béton produit en Algérie. Dans cet esprit nous donnons une synthèse de plusieurs travaux regroupant des résultats d'analyse statistique sur la qualité du béton produit dans la région centre (Alger, Blida et Tipaza) puis nous avons essayé d'étendre cette analyse à d'autres régions telles que Tizi-Ouzou pour l'Est d'Alger et les zones de Chlef et Tissemsilt pour la région Ouest de l'Algérie.

Le quatrième chapitre, quant à lui, a été consacré à l'étude expérimentale. Nous avons donné dans ce chapitre, que nous appelons "possibilités d'amélioration de la qualité du béton", l'ensemble des compositions et des résultats obtenus pour treize types de bétons que nous avons confectionnés puis testés.

Ce travail s'achève par une conclusion générale et quelques recommandations que nous avons jugées utiles pour l'obtention d'un béton répondant à un grand nombre de questionnements relatifs aux facteurs intrinsèques cités, aux facteurs de mise en œuvre et aux facteurs d'ambiance et de conservation.

Notre souci était de répondre à la question que nous avons classée comme essentielle et prioritaire et qui est la résistance du béton exigée par les bureaux d'études dans le calcul des éléments de structures en béton armé et que nous avons fixée rappelons-le à 27 MPa.

CHAPITRE I

QUALITES

ESSENTIELLES

DU BETON

CHAPITRE I

QUALITES ESSENTIELLES DU BETON

I-1 GENERALITES :

Le béton est un mélange de constituants très différents : liquide (eau), poudre active (liant hydraulique), solides inertes (granulats). Le diamètre des particules solides s'échelonne de quelques microns, pour le ciment à plusieurs dizaines de millimètres pour les granulats. Des adjuvants peuvent y être ajoutés à l'état liquide ou en poudre. Certains sont tensio-actifs et permettent la formation de bulles d'air dont les diamètres varient de 10μ à 1mm.

Le béton est alors un corps hétérogène de par la nature de ses constituants (gaz, liquide, solide) et la granularité de ses éléments solides. Le liant additionné à l'eau constitue une pâte pure qui semble homogène et dans laquelle baignent les granulats.

Les caractéristiques de cette pâte sont fondamentales et varient avec la nature du liant, le dosage en eau, la présence ou non d'adjuvants et le mode de préparation (en particulier l'énergie de malaxage). Cette pâte, où les effets de surface sont prépondérants, possède un certain seuil de cisaillement et une certaine viscosité plastique. Ces caractéristiques évoluent en quelques heures. Les granulats font apparaître dans cette pâte des effets de masse qui augmentent l'angle de frottement interne.

Papadakis et Blomblet ont bien montré comment les propriétés rhéologiques du béton étaient issues de la résultante entre les effets de surface dus aux grains les plus fins et les effets de masse dus aux plus gros granulats.

Le problème revient donc à choisir les matériaux, leurs dosages et leur granulométrie afin d'obtenir un béton homogène capable de conserver cette homogénéité notamment pendant le transport et la mise en place.

Comme le rappelait le professeur H.Lafuma au premier congrès français de la Rhéologie (1955) : « La pérennité d'un béton dépend en grande partie des caractéristiques rhéologiques du béton frais. » Mais, la meilleure ouvrabilité ne donne pas forcément les meilleures caractéristiques recherchés pour le béton durci. Un compromis doit alors être recherché [1].

La confection d'un béton convenable résulte d'abord d'études faites en laboratoires avec des méthodes approuvées, des appareillages précis et en tenant compte des matériaux effectivement utilisés sur le chantier, des moyens de malaxage et de serrage et de la destination des ouvrages. La composition qui en résulte doit être suivie sur le chantier et régulièrement contrôlée.

Nous consacrerons ce même chapitre aux quelques notions d'ouvrabilité, de compacité, de perméabilité, de durabilité du béton et aussi aux facteurs les plus influents sur la durabilité et la qualité en général du béton.

I-2 OUVRABILITE :

L'ouvrabilité peut se définir comme la facilité offerte par le béton à bien se mettre en œuvre pour le bon enrobage des armatures, un parfait remplissage du coffrage et sans ségrégation.

L'ouvrabilité est, pour le béton, une qualité fondamentale qui doit être sérieusement prise en compte dans l'étude de composition.

Elle peut, en général, être appréciée à partir des mesures de plasticité par affaissement au cône d'Abrams. Le tableau I-1 de la page suivante donne quelques états de consistance du béton.

Tableau I-1 : Appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au cône [2].

Consistance du béton	Affaissement au cône Cm	Serrage nécessaire
Très ferme	≤ à 2	Vibration puissante
Ferme	3 à 5	Bonne vibration
Plastique	6 à 9	Vibration normale
Très plastique	10 à 15	Simple piquage
Fluide	≥ à 16	Léger piquage

D'après Papadakis «un béton possède l'ouvrabilité maximale lorsqu'il remplit au mieux le moule qui lui est offert tout en conservant son homogénéité».

L'ouvrabilité dépend non seulement des matériaux utilisés mais aussi du malaxage et du mode de mise en place dont on dispose. C'est dire que l'ouvrabilité n'est pas une propriété intrinsèque du matériau, mais dépend de plusieurs facteurs.

De l'ouvrabilité dépendent en effet la plupart des qualités de l'ouvrage : compacité et résistance réelle du béton dans l'ouvrage lui-même, enrobage et adhérence des armatures, cohésion du béton entraînant un moindre risque de ségrégation, parements de belle apparence, étanchéité etc, c'est pourquoi l'ouvrabilité doit être considérée par le laboratoire chargé de l'étude d'un béton, comme une qualité aussi importante que la résistance. Il arrive trop fréquemment que des formules de composition qui ont permis en laboratoire la confection de belles éprouvettes, doivent être modifiées sur le chantier par défaut d'ouvrabilité qui, on l'oublie trop souvent, risquerait d'entraîner pour le béton dans l'ouvrage un certain nombre de défauts dont en particulier des résistances localement insuffisantes [3].

En conclusion l'ouvrabilité du béton est une caractéristique importante qui est trop souvent négligée. Elle est pourtant essentielle car elle conditionne non seulement la mise en place correcte du matériau, mais l'ensemble de ses propriétés à l'état durci [1].

I-3 COMPACITE :

I-3-1 Définition :

La compacité du béton est une propriété essentielle qui conditionne notamment sa résistance mécanique, son module d'élasticité et sa durabilité.

La compacité du béton peut être définie par le rapport du volume absolu de matières solides (liants et granulats) au volume apparent total.

Sur un béton frais la compacité se détermine après sa mise en place dans un moule permettant de définir le volume apparent occupé.

Sur le béton durci, pour connaître le volume des vides accessibles à l'eau, on soumet après séchage un élément de béton à une imbibition sous pression, la masse d'eau qui emplit les vides accessibles permet de déterminer le volume absolu des matières solides par différence avec le volume apparent.

Pour Féret, la compacité du béton frais se détermine de la manière suivante :

Si l'on désigne par V_c (ciment), V_s (matériaux inertes), V_e (eau de prise), V_v (air ou vide) les volumes occupés dans l'unité de volume frais du béton en place, on a :

$$V_c + V_s + V_e + V_v = 1.$$

La compacité du béton C est le complément à l'unité du volume de l'eau et de l'air inclus dans le volume 1 du mélange :

$$C = V_c + V_s = 1 - (V_e + V_v).$$

On peut également, pour un corps poreux (ou un mélange de granulats), de volume apparent V_1 et dont les pores (ou vides internes) représentent un volume absolu V_2 , définir la compacité comme le rapport entre le volume des matières solides et le volume apparent total :

$$C = \frac{V_1 - V_2}{V_1} = 1 - \frac{V_2}{V_1}$$

Si V_a est le volume absolu des granulats et V_c le volume absolu du ciment contenu dans 1 m³ de béton frais en œuvre (après sa mise en place dans le coffrage), le coefficient de compacité γ est le rapport des volumes des matières solides $V_a + V_c$ (en L) au volume du béton frais en œuvre. Pour 1 m³ de béton frais, on a :

$$\gamma = \frac{V_a + V_c}{1000}$$

On peut définir la compacité comme la différence entre le volume unitaire apparent d'un ensemble et le volume des vides. Pour déterminer sa valeur, il est nécessaire de connaître le volume des vides, c'est-à-dire la porosité du corps creux qui est définie par le rapport du volume des vides accessibles à l'eau au volume apparent occupé par ce corps. La compacité est donc le complément à l'unité de la porosité.

I-3-2 Porosité et compacité :

La détermination de la porosité du béton durci s'effectue selon des spécifications conventionnelles, c'est-à-dire que le volume absolu obtenu dépend des conditions d'essais qui comportent essentiellement deux phases :

- séchage pour obtenir un certain état sec,
- imbibition pour introduire dans les pores accessibles un certain volume d'eau dont la détermination de la masse permettra de déduire le volume des vides.

Cette notion de volume des vides, liée au volume des pores accessibles à l'eau, dépend de plusieurs paramètres :

- l'intensité du séchage (durée, température, hygrométrie, ventilation, masse du volume de prélèvement, etc.).
- l'âge du béton au moment de sa mise en séchage (c'est-à-dire degré d'hydratation du ciment) etc...

L'imprégnation des vides par l'eau s'effectue jusqu'à un certain état conventionnel de saturation. L'imbibition peut être réalisée par simple immersion, par un remplissage lent sous vide (dépression de 700 mm Hg \approx 0.75 bar) ou même par un remplissage sous pression hydraulique jusqu'à 120 bars (norme DIN).

Il en résulte que, selon les processus de spécifications expérimentales, les valeurs de porosité et de compacité obtenues ne pourront pas être comparées.

Les valeurs numériques du coefficient de **compacité** du béton peuvent varier de 0.75 à 0.90. Certains auteurs ont donné pour la compacité et la porosité les valeurs indiquées au tableau I-2.

Tableau I-2 : Relation entre compacité, porosité et qualité du béton [6].

Compacité	Porosité	Qualité du béton
0.89 à 0.90	10 à 11 %	Excellente
0.85 à 0.86	12 à 15 %	Bonne
0.82 à 0.84	16 à 18 %	Satisfaisante
0.78 à 0.81	19 à 22 %	Médiocre
< à 0.78	> à 22 %	Mauvaise

I-3-3 Relation entre la compacité et les propriétés du béton :

La compacité du béton est le critère essentiel de la qualité du béton. Féret a établi, à la suite de nombreuses études expérimentales, que le volume absolu de matière solide contenu dans un mélange unitaire donné était l'élément principal dont dépendait la résistance à la compression du béton :

$$R_c = k \cdot \frac{(V_c)^2}{(V_c + V_e + V_v)} \quad [6]$$

Avec k constante qui est fonction de la qualité du liant

V_c volume absolu du ciment

V_e volume total d'eau incluse pour la confection

V_v volume d'eau ou vide existant après confection.

En posant $V_e + V_v = 1 - C$

C étant la compacité, c'est-à-dire le volume absolu de matière, on voit que la résistance en compression pour un dosage donné de ciment a pour valeur :

$$R_c = k \cdot \frac{(V_c)^2}{(V_c + 1 - C)}$$

$$R_c = k \lambda^2$$

Avec λ degré de concentration.

La résistance est donc étroitement liée à la compacité.

L'importance du facteur de compacité est essentielle, non seulement pour la recherche de la meilleure résistance mécanique du béton, mais aussi pour plusieurs autres propriétés du béton :

- Le module d'élasticité du béton : la rigidité du béton croît avec la compacité ;

- La durabilité du béton : la compacité est un facteur essentiel qui s'oppose à l'altération du béton laquelle peut être engendrée par les intempéries ou par l'action des eaux agressives.

Une forte compacité est de nature à éviter ou réduire la pénétration de l'eau dans les pores du béton qui peut entraîner sa désagrégation par le gel et favoriser la corrosion des armatures.

I-3-4 Influence de la composition du béton sur la compacité :

La compacité peut être modifiée par les paramètres suivants :

- granularité de chaque catégorie de granulats ;
- granulométrie du mélange ;
- dosage en ciment et en eau ;
- intensité et durée du serrage (piquage, compactage).

Les méthodes de composition du béton conduisent en général à une compacité optimale et sont basées sur les formulations des mélanges des grains solides tels que les vides entre les gros grains soient remplis par les grains plus fins : l'imbrication des éléments les uns entre les autres, laissant un minimum de vide, permet de se rapprocher du béton de qualité optimale recherchée.

I-4 PERMEABILITE :

La perméabilité du béton à un fluide (eau, air etc.) est une propriété très importante en pratique pour les éléments en béton et pour leur durabilité.

L'étude et la mesure expérimentale de cette caractéristique présentent plusieurs difficultés. Dans un milieu poreux, la perméabilité est influencée par l'importance des espaces, des vides, des discontinuités (fissures) de la structure et du réseau de pores.

Dans un matériau artificiel hétérogène comme le béton (granulat, liant hydraulique, vide d'air), le milieu poreux est très complexe : forme, dimensions des vides, interconnexion. Globalement, ce milieu poreux est caractérisé par sa porosité mais la dimension des pores et des vides joue un rôle très important vis-à-vis de la circulation et de la rétention des liquides.

Cette notion du volume des vides égal au volume d'eau d'imprégnation est alors conventionnelle, elle dépend des vides accessibles.

Par ailleurs, la notion de perméabilité d'un milieu poreux par rapport à un fluide ne peut avoir un sens physique précis que si tous les pores du milieu sont remplis par le fluide.

Il résulte de ces remarques générales que la notion de perméabilité pour des matériaux poreux comme le béton ne repose pas sur des bases physiques précises : c'est une notion essentiellement empirique.

I-5 DURABILITE :

I-5-1 Durabilité et qualité :

La durabilité du béton est un fait reconnu et attesté par la pérennité des ouvrages exposés à des conditions climatiques ou d'environnement les plus variées. Les ouvrages usuels, réalisés en bétons courants, tels que les plates-formes off-shore en milieu marin, les autoroutes sollicitées par un trafic intense, les viaducs soumis à l'action de gel et des sels de déverglaçage, résistent au fil des années aux multiples agressions physico-chimiques auxquelles ils sont soumis. Néanmoins, il arrive que par suite de causes accidentelles, des défauts de conception ou de mise en œuvre soient à l'origine de désordres.

La notion de durabilité est donc indissociable de celle de qualité à tous les niveaux et, en particulier, de celle du matériau béton. L'exigence de la qualité est devenue aujourd'hui une nécessité et aussi un facteur d'économie de par sa contribution à la limitation des coûts de maintenance.

La qualité ne concerne pas uniquement le béton mais aussi ses composants.

Le concepteur doit disposer des informations nécessaires sur les matériaux pour réaliser des ouvrages résistants à la fois aux contraintes mécaniques et aux facteurs extérieurs de dégradation.

Il ne faut cependant pas oublier que la durabilité du béton est aussi dépendante des conditions de mise en œuvre et que toute négligence à ce niveau peut remettre en cause des matériaux de bonne qualité.

I-5-2 Les facteurs influants de la durabilité :

I-5-2-1 Les facteurs propres au matériau béton :

I-5-2-1-1 La porosité du béton :

Le béton est un mélange composé d'un ensemble de constituants : ciment, granulats, eau, adjuvants.

Le béton durci courant présente une porosité de 10 à 12% due à la présence de capillaires et de pores inclus dans la texture même des hydrates. Les capillaires, qui sont dimensionnellement les plus importants, ne dépassent pas un diamètre de quelques microns. Les pores des hydrates sont de 10 à 100 fois plus petits [4].

Les études de comportement du béton et de son évolution ont montré, dès l'origine, l'influence de la porosité sur la résistance (relation établie par Féret). Mais les corrélations entre durabilité et résistances mécaniques, entre absorption d'eau et résistance au gel ou encore entre perméabilité et carbonatation ont été mises en évidence plus récemment.

Il est aujourd'hui admis que la réduction de la porosité du béton, qui est, entre autres, la condition pour réaliser des bétons de hautes performances, est requise pour l'amélioration de la résistance du béton, aussi bien d'un point de vue mécanique que vis-à-vis d'agression d'ordre physico-chimique.

La réduction de la porosité dépend principalement de la formulation et de la mise en œuvre.

Deux facteurs sont prépondérants dans la conception d'un béton de faible porosité.

- Une faible teneur en eau ;
- Une granulométrie comportant des éléments fins, éventuellement actifs, en quantité suffisante pour remplir les espaces entre les plus gros granulats.

Les progrès réalisés dans la connaissance des adjuvants ont permis d'élaborer des plastifiants qui autorisent des réductions importantes de la teneur en eau sans diminuer la plasticité du mélange.

Une étude correcte de la granulométrie du béton, en jouant sur les dosages en ciment et en sable, est généralement suffisante et ne nécessite pas un recours à des particules ultra-fines comme pour les bétons de très hautes performances.

Toutefois un malaxage efficace, une vibration et une cure appropriée, sont des conditions impératives pour la réalisation d'un béton durable.

I-5-2-1-2 La fissuration :

Les effets mécaniques qui résultent des gradients de température dus à l'hydratation du ciment sont souvent considérables et peuvent être dans certains ouvrages (barrages ou massifs de fondation...), largement dominants par rapport aux actions de nature strictement mécanique, tout particulièrement au jeune âge [5].

L'hydratation du ciment génère des flux de chaleur et par conséquent des gradients de température qui engendrent un déséquilibre avec le milieu ambiant, ce qui le plus souvent se traduit par une fissuration du béton [5].

La fissuration d'origine thermique peut être de deux types :

a - La fissuration de peau :

La fissuration dans les massifs de fondations coulés en continu, les chevêtres ou les voussoirs sur pile est due non pas au gradient local, mais à l'écart de la température locale avec le champ linéaire équivalent.

Cette fissuration de peau est cependant rarement très ouverte car la distance entre deux fissures principales consécutives est du même ordre que la profondeur de la zone tendue, laquelle ne peut dépasser le quart de l'épaisseur [5].

b - La fissuration localisée :

En cas de reprise de bétonnage (voile épais coulé par levées successives) ou d'encastrement (barrage, voile encastré sur un massif de fondation ou sur une semelle filante, chaussée sur couche ou sol rigide), on aura une fissuration localisée, souvent beaucoup plus espacée, donc largement plus ouverte ; sur des chaussées en béton armé continu (BAC), par exemple, on a observé entre les fissures des distances supérieures à 50m [5].

Il faut souligner ici le caractère non préjudiciable de la plupart des fissures qui, correctement maîtrisées par des armatures ou des joints qui en déterminent l'emplacement et en limitent l'ouverture, n'ont pas d'influence sur la durabilité du béton [4].

La réglementation, notamment en matière de béton armé, prévoit le dimensionnement des ouvrages et les dispositions propices à empêcher ou à contrôler efficacement la fissuration potentielle. Seules, les fissures non contrôlées à caractère fortuit sont susceptibles de jouer un rôle négatif [4].

I-5-2-1-3 Causes principales de fissuration :

Les principales causes de fissuration sont :

- Le retrait de la pâte de ciment ;
- Les conditions thermiques et hygrométriques ;
- Les causes mécaniques.

La pâte de ciment subit différentes phases de déformations aux stades successifs de l'hydratation : pré-prise, prise et durcissement [4].

Le tableau I-3 montre les mécanismes liés aux différentes phases de déformation :

Tableau I-3 : Mécanismes liés aux différentes phases de déformation [4].

	Pré-prise	Prise	Durcissement
Phases de Déformation	Tassement	Premier retrait	Retrait à terme
Mécanisme Prépondérant	Ressuage	Dessiccation par évaporation	Contraction thermique liée à l'hydratation et dessiccation par évaporation

Chacune des phases de déformation est liée à un mécanisme prépondérant qui génère un gradient de température ou d'humidité dans le béton. Les facteurs qui influent sur les trois phases de déformation peuvent être groupés en quatre catégories principales, qui concernent plus particulièrement :

- La composition du béton, l'interdépendance des constituants, la cinétique d'hydratation ;
- La mise en œuvre du béton : fabrication, mise en place, vibration,
- La cure ;
- La géométrie de l'ouvrage ;
- Le milieu environnant [4].

Dans le tableau I-4 de la page suivante sont regroupés les facteurs les plus influents sur chacune des phases de déformation du béton.

Tableau I-4 : Facteurs influants sur chacune des phases de déformation du béton [4].

	Tassement	Premier retrait	Retrait à terme
Composition Du béton	Granulométrie/ Dosage en Adjuvants	Dosage en eau- Adjuvants- Ajouts	Nature et finesse du Ciment Dosage en eau Nature des granulats
Mise en œuvre Du béton	Vibration	Cure	Cure Traitement thermique
Géométrie De l'ouvrage	Epaisseur de béton frais	Ratio surface/ Epaisseur de béton	Epaisseur de la pièce
Milieu environnant	Température	Température Hygrométrie Vent	Hygrométrie

Le soin apporté à la formulation, à la mise en œuvre, et la prise en compte des conditions extérieures permettront, dans la quasi-totalité des cas, de prévenir l'apparition d'une fissure préjudiciable à la durabilité du béton.

I-5-2-1-4 La corrosion des armatures :

Dans les conditions normales, les armatures enrobées de béton sont protégées de la corrosion par un phénomène de passivation qui résulte de la création, à la surface du métal, d'une pellicule protectrice de ferrite $Fe_2O_3 \cdot CaO$ [4].

Cette pellicule est formée par l'action de la chaux libérée par les silicates sur l'oxyde de fer. Tant que la présence de chaux maintient la basicité du milieu entourant les armatures, celles-ci sont protégées.

Plusieurs agents peuvent neutraliser cette protection : le gaz carbonique, les chlorures, les sulfates, mais aussi l'eau pure. La plus ou moins grande rapidité d'action de ces divers agents est en relation directe avec la porosité du béton et avec la présence de fissures qui favorisent la diffusion des gaz ou de liquides agressifs.

Parmi les actions susceptibles de modifier le béton d'enrobage, la carbonatation constitue un phénomène qui a fait l'objet de nombreuses recherches et est maintenant admise à l'unanimité. En présence du gaz carbonique de l'air, la chaux libre de la pâte cimentaire se carbonate :



Le milieu basique (pH 11 à 12) se trouve progressivement modifié par la neutralisation de l'alcalinité du ciment pour atteindre un pH de l'ordre de 9, n'assurant plus la protection des armatures et entraînant une dépassivation de l'acier. La progression de la carbonatation se fait de l'extérieur de l'ouvrage, en contact avec l'air ambiant, vers l'intérieur, mais se trouve, dans la plupart des cas freinée par la formation des carbonates.

La vitesse de progression de la carbonatation diminue donc avec la profondeur atteinte. C'est ce que montre la figure I-1.

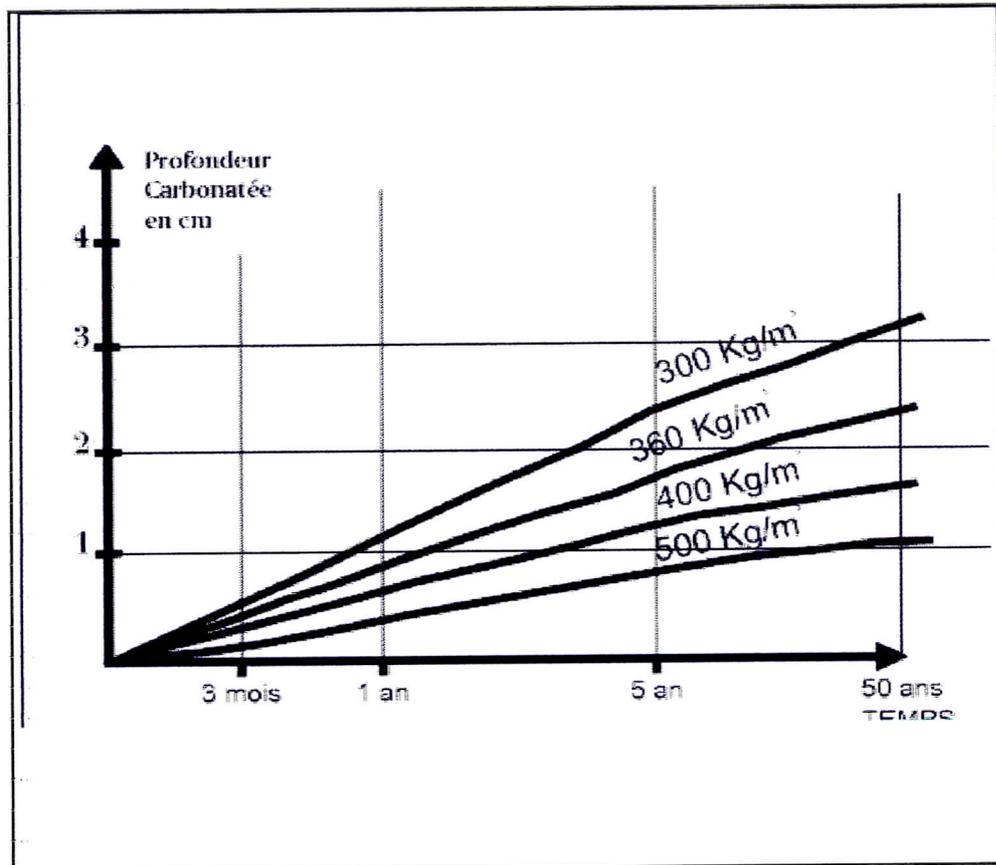


Figure I-1 : Evolution de la carbonatation en fonction du dosage en ciment [4].

Cette progression est en fait modifiée par des facteurs liés au béton lui-même : nature et dosage en ciment, dosage en eau, porosité du béton et au milieu environnant.

L'humidité relative de l'air joue, en particulier, un rôle important : la vitesse de carbonatation est maximum pour une humidité relative de l'ordre de 50%, pratiquement nulle en atmosphère sèche ou saturée [4].

La figure I-2 montre bien l'incidence de l'humidité relative de l'air sur la vitesse de carbonatation.

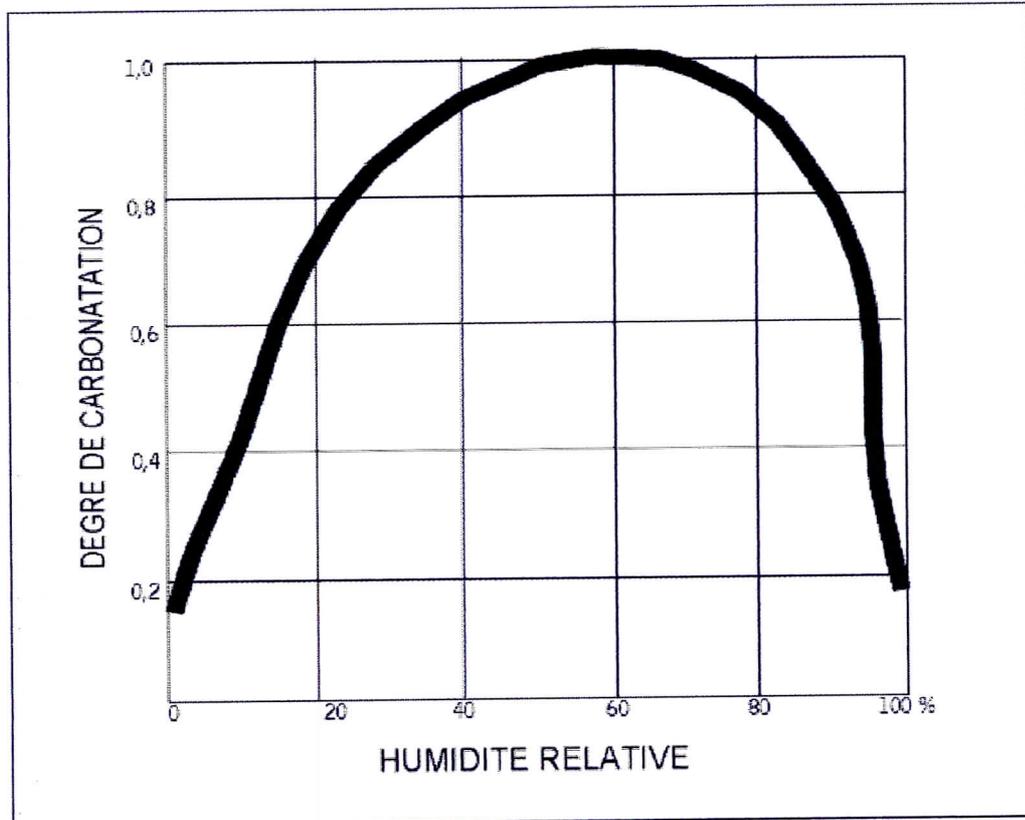


Figure I-2 : Incidence de l'humidité relative de l'air sur la vitesse de Carbonatation [4].

Dans les atmosphères industrielles ou même urbaines, l'eau de pluie renferme des composés chimiques qui peuvent être diffusés dans le béton et attaquer le métal des armatures. En particulier, le bioxyde de soufre ou les oxydes d'azote provenant des moteurs d'automobiles peuvent entraîner une acidification des pluies (pH de l'ordre de 3 ou 4) qui deviennent particulièrement agressives pour le béton et pour les armatures.

Les eaux chargées en sels tel que les chlorures (milieu marin) ou les sulfates (certaines eaux souterraines) provoquent une corrosion importante des armatures que peut empêcher un bon enrobage de béton [4].

I-5-2-1-5 Les facteurs externes :**a – Les ambiances chimiquement agressives :**

Les acides, certaines solutions salines ou même des solutions basiques peuvent entraîner la dissolution de la chaux et la formation de composés qui, lorsqu'ils sont solubles, sont à l'origine d'altérations. Les constituants du béton, ses caractéristiques et les conditions climatiques ambiantes influent sur ces différentes actions et en modifient l'importance.

Les eaux souterraines sulfatées constituent un cas d'agression bien connu : le sulfate de calcium se combine avec les aluminates du ciment pour former un sel, l'ettringite, dont la cristallisation s'accompagne d'une expansion qui provoque la fissuration du béton. La fissuration facilite la pénétration des agents agressifs jusqu'aux armatures qui sont, à leur tour, attaquées [4].

Les chlorures réagissent avec les hydroxydes de chaux pour donner des sels solubles. Les chlorures et les sulfates coexistent dans l'eau de mer, qui constitue donc pour le béton et plus particulièrement pour le béton armé, un agent agressif dont l'action est, cependant, très différente selon que l'ouvrage est totalement immergé ou en immersion semi-alternée. Ce dernier cas est le plus défavorable, car les actions chimiques se superposent à des cycles de variations dimensionnelles (retrait et expansion), provoqués par des variations d'ambiances et alternance d'absorption et d'évaporation d'eau.

L'agression d'origine chimique peut aussi provenir des eaux de lavage ou des effluents en milieu industriel ou agricole. La diversité des composés minéraux ou organiques susceptibles d'agir, rend généralement très délicate l'analyse des phénomènes et nécessite un soin particulier dans le choix des constituants du béton [4].

b – Les ambiances hivernales :

On rappellera dans ce paragraphe que deux phénomènes peuvent être à l'origine des altérations du béton :

- Une succession de phase de gel et de dégel ;
- L'action des sels de déverglaçage (ou fondants).

Le mécanisme d'altération s'explique, dans le premier cas, par l'accroissement des pressions dans les capillaires, dû au mouvement de l'eau vers les fronts de gel d'eau inerte. L'action des sels de déverglaçage, à la fois plus sévère et plus complexe, cumule les effets d'un refroidissement plus rapide que précédemment, se traduisant par un choc thermique et des causes chimiques liées à la diffusion dans le béton de ces sels [4].

I-5-3 La recherche d'un béton durable :

Un béton durable est un béton compact dont les constituants de qualité ont été bien choisis, qui a été correctement formulé et fabriqué et, enfin, qui a été mis en œuvre en respectant les règles strictes de bonne pratique.

I-5-3-1 le choix des constituants :

Les ciments actuels répondent aux exigences des emplois usuels ; les milieux qui présentent des agressions spécifiques nécessitent le recours à des ciments spéciaux. C'est ainsi qu'en présence d'un facteur agressif pouvant entraîner la dissolution de la chaux (par exemple l'eau pure), on préférera des ciments à faible teneur en chaux.

Vis-à-vis des agressions dues aux milieux marins ou aux eaux sulfatées, on utilisera des ciments prise mer ou résistant aux eaux sulfatées.

Les granulats doivent être choisis en fonction de leur nature minéralogique, de leur forme mais aussi de leur dureté. Compte tenu de l'importance de la zone de contact granulats-pâte dans le développement des résistances, la propreté des granulats et l'absence de particules argileuses est un impératif [4].

Les adjuvants jouent aussi un rôle important. Les plastifiants réducteurs d'eau facilitent l'obtention d'une forte compacité en réduisant la teneur en eau et améliorent la mise en œuvre.

Les hydrofuges s'opposent à la pénétration des agents agressifs en solution.

Les entraîneurs d'air quant à eux ils sont indispensables pour la bonne tenue des bétons au gel et aux sels.

L'eau est un facteur important de par son dosage qui doit être aussi faible que possible, et par sa nature : les eaux potables sont les plus adaptées ; la teneur en sels est à surveiller pour les bétons les plus performants.

L'eau de mer peut être employée dans certains cas, mais est incompatible avec les bétons armés ou précontraint compte tenu de la corrosion possible des aciers [4].

I-5-3-2 Critères essentiels du béton durable :

Le tableau I-5 résume les critères essentiels pour un béton durable.

Tableau I-5 : Critères essentiels du béton durable [4].

Phénomène à prévenir					
Conception Du béton		Fissuration	Gel et fondants	Corrosion des armatures	Attaques Chimiques
CONSTITUANTS DU BETON	Ciment	Dosage, finesse, Vitesse de prise	Minimum 700 — \sqrt{D}		Choix selon Agent agressif Dosage > 350 Kg/m ³
	Granulats	Dimensions	Non gélifs	Dimension selon enrobage	Propres. Choix Selon type Agression
	Adjuvants	Qui s'opposent a la dessiccation	Entraîneur d'air créant Un réseau de bulles efficaces	Plastifiant Hydrofuge	
BETON	E/C		< 0.50		0.45 à 0.50
MISE EN ŒUVRE	Fabrication	Malaxage efficace-temps de transport			
	Mise en place	Vibration régulière assurant un enrobage correct des armatures			
	Cure	Indispensable pour toutes surfaces horizontales			
DISPOSITION CONSTRUCTIVES		Création de joints. Armatures de répartition	Eviter la stagnation d'eau. Faciliter son écoulement	Epaisseur d'enrobage	

I-5-4 Le vieillissement du béton :

Sans mettre réellement en cause la durabilité, le vieillissement de la surface visible du béton reste un facteur préjudiciable sur le plan esthétique. Il convient de souligner que, comme tous les matériaux, le béton subit un vieillissement qui doit être considéré comme naturel. L'entretien des ouvrages en béton est donc une opération qui doit être prévue, au même titre qu'elle l'est pour les ouvrages dont on souhaite conserver les qualités esthétiques.

I-6 RESISTANCE :

La résistance a été longtemps considérée comme la qualité essentielle, pour ne pas dire la seule, à rechercher pour un béton [3].

La résistance à la compression constitue, dans l'état actuel des connaissances et de la technologie concernant les essais mécaniques, la valeur la plus significative pour caractériser la qualité générale du béton [7].

Un béton est donc essentiellement caractérisé par la contrainte de rupture en compression mesurée, le plus souvent sur des éprouvettes cylindriques dont la hauteur est double du diamètre (norme NF P 18-400) [8]. Le cylindre le plus couramment employé est le cylindre de 16 ($\phi = 15.96$ cm) dont la section est de 200cm^2 [3]. D'autres dimensions peuvent être employées. On peut citer les 11/22, les 20/40, les 25/50, les 30/60 et les 40/80 pour les éprouvettes cylindriques. Le format de moule cylindrique dépend de la dimension D_{max} du granulat :

Le diamètre du moule ou de l'éprouvette cylindrique, ne doit pas être inférieur à $4D$ [3].

I-6-1 Moules et éprouvettes utilisés :

Le tableau I-6 qui suit résume les dimensions géométriques des moules cylindriques utilisés pour la mesure des résistances du béton.

Tableau I-6 : Dimensions de fabrication des moules et éprouvettes cylindriques [3].

Format	Dimensions de Fabrication (mm)		Section (cm ²) par un plan		D (mm)
	Diamètre a	Hauteur	Orthogonal	Diamétral	
Cylindre de 11	112.8	220	100	248	≤ 25
Cylindre de 16	159.6	320	200	511	≤ 40
Cylindre de 25	252.5	500	500	1 262	≤ 63

D'après une proposition de l'I.S.O (International Standard Organisation) on peut adopter les coefficients ci-après pour relier les résistances trouvées (pour un même béton) sur des éprouvettes de dimensions différentes, $x/2x$ l'éprouvette 16/32 (200cm²) étant prise comme base de référence :

$$f_c \ x/2x = \phi_{cyl} \cdot f_c \ 16/32 \ [3].$$

Les valeurs du coefficient ϕ_{cyl} qui relie les résistances d'un même béton mesurées sur des cylindres différents sont regroupées dans le tableau I-7 suivant.

Tableau I-7 : Coef. Reliants les résistances d'un même béton et de moules différents [3].

Cylindre (cm) $x/2x$	11/22	16/32	20/40	25/50	30/60	40/80
ϕ_{cyl}	1.02	1.00	0.97	0.95	0.91	0.85

On peut aussi utiliser des moules et des éprouvettes prismatiques qui sont constituées de prismes à section carrée de côté a et de longueur $L = 4a$ [3].

Le tableau I-8 résume les dimensions géométriques de ces moules.

Tableau I-8 : Dimensions de fabrication des moules et éprouvettes prismatiques [3].

Prisme de	Dimensions de Fabrication (mm)		Section A^2 (cm^2)	Distance Entre appuis Intérieurs $l = 3a$ (mm)	Abouts $L - l$ 2 (mm)	D (granulats) (mm)
	arête a de la base	Longueur $L = 4d$				
7	70.7	282.8	50	212.1	35.3	≤ 16
10	100	400	100	300	50	≤ 25
14	141.4	565.6	200	424.2	70.7	≤ 31.5
20	200	800	400	600	100	≤ 50

Nous pouvons également utiliser des moules et éprouvettes cubiques pour lesquelles nous donnons les dimensions de fabrication au niveau du tableau I-9.

Tableau I-9 : Dimensions de fabrication des moules et éprouvettes cubiques [3].

Format cube de	Dimension de fabrication Arête a (mm)	Section (cm^2)	D (mm)
10	100	100	≤ 25
14	141.4	200	≤ 31.5
20	200	400	≤ 50
30	300	900	≤ 80

Toujours d'après l'I.S.O on peut relier les résistances trouvées (pour un même béton) sur des éprouvettes de dimensions différentes, avec le cube de 14 cm (200 cm²) étant pris comme base de référence.

$$f_{cx} = \varphi_{\text{cube}} \cdot f_{c14} \quad [3].$$

Les valeurs du coefficient φ_{cube} sont regroupées dans le tableau I-10.

Tableau I-10 : Coef. Reliants les résistances d'un même béton et de moules différents [3].

Cube (cm)	10	14	20	25	30
φ_{cube}	1.10	1.00	0.95	0.92	0.90

I-6-2 Contrainte de rupture en compression :

Concernant cette contrainte de rupture en compression, on réalise en général plusieurs éprouvettes pour contrôler la production d'un béton donné et l'on observe une certaine dispersion entre les valeurs trouvées pour chacune d'elles. C'est pourquoi on définit comme suit la résistance dite caractéristique qui constitue la base contractuelle concernant la résistance d'un béton donné (avec les notations des règles BAEL) : « *La résistance caractéristique f_{ck} applicable à un lot de béton est celle pour laquelle on ne risque pas de trouver plus de $p\%$ de valeurs inférieures à cette valeur f_{ck} ; de plus aucune valeur ne doit être inférieure à une valeur minimale f_{cmin} fixée.*

Le pourcentage maximal p de valeurs inférieurs à f_{ck} est ainsi choisi :

$$f_{ck} < 30 \text{ MPa} \quad p = 10\% (0.10)$$

$$f_{ck} \geq 30 \text{ MPa} \quad P = 5\% (0.05)$$

La résistance caractéristique se mesure, en principe, à l'âge de 28 jours pour le béton. Une certaine résistance peut être exigée, dans certains cas, à un âge plus jeune ; il s'agit alors d'un autre critère.

I-6-3 La résistance en traction :

En ce qui concerne la résistance en traction des bétons, il existe plusieurs essais (par traction directe, flexion fendage, etc.) ; ces essais ne donnent pas des résultats identiques ; c'est pourquoi l'on adopte, en général, une résistance caractéristique à la traction f_{tk} dite conventionnelle et calculée à partir de la résistance en compression f_{ck} , par la formule suivante :

$$f_{tk} = 0.6 + 0.06.f_{ck} \quad (\text{en MPa}) \quad [8].$$

N.B : Nous reviendrons avec plus de détail, sur les caractéristiques du béton et les facteurs qui influent sur ces caractéristiques, dans le chapitre suivant.

CHAPITRE II

FACTEURS

INFLUANTS

SUR

LES QUALITES

ESSENTIELLES

DU BETON

CHAPITRE II

FACTEURS INFLUANTS SUR LES QUALITES ESSENTIELLES DU BETON.

II-1 GENERALITES :

Le béton est un mélange intime de granulats (sable, graviers, et éventuellement cailloux) liés entre eux par une pâte de ciment (ciment + eau).

Le béton tire alors une bonne part de sa résistance des granulats et plus particulièrement des gros grains ce qui nécessite l'emploi des granulats de qualité, et de dimension maximale. Celle-ci devant rester compatible avec une bonne facilité de mise en œuvre.

La qualité du béton est bien entendu fonction de celle de ses constituants : ciment, granulats, eau. L'idée de base des recherches entreprises depuis fort longtemps est d'effectuer une sélection suffisante de composants pour obtenir la résistance souhaitée, sans pour autant renchérir de façon prohibitive le coût du matériau.

La résistance mécanique est une qualité fondamentale d'un béton. En effet, le béton est en général employé comme matériau porteur ; le taux de travail d'un ouvrage en béton dépend de sa résistance mécanique. Cette dernière est fonction de plusieurs paramètres dont les principaux sont :

- la nature des constituants ;
- les conditions de mise en œuvre ;
- les conditions thermohygrométriques de conservation.

On peut dire alors que pour réaliser un bon béton il est nécessaire d'agir sur les facteurs les plus influents. Ces derniers peuvent être classés en trois familles :

1. Facteurs intrinsèques (relatifs à la constitution du béton) :
 - Le choix des composants ;
 - Le choix de la granularité ;
 - Le dosage en ciment ;
 - La quantité d'eau de gâchage.
2. Facteurs de mise en œuvre :
 - L'ajout d'adjuvants divers ;
 - Les moyens de fabrication, de transport et de mise place.
3. Facteurs d'ambiance et de conservation :
 - température ;
 - hygrométrie ;
 - cure.

II-2 FACTEURS INTRINSEQUES :

II-2-1 Généralités :

Il est bien connu que les granulats constituent le squelette du béton, ceci traduit bien le fait que, presque toujours, ils sont plus durs que la pâte de ciment qui les enrobe. En général la résistance propre du granulat est supérieure à celle du béton : le mécanisme de rupture du béton par compression est donc assez complexe ; il fait intervenir les qualités de forme et d'adhérence des granulats, aussi bien que leur résistance mécanique.

II-2-2 Les granulats :

II-2-2-1 Les graviers :

Les granulats trop durs, et surtout ceux de dimensions trop importantes, peuvent provoquer des concentrations de contraintes. Selon de nombreux auteurs, les meilleurs bétons sont réalisés avec des granulats de dimensions inférieures à 15 mm ; le rapport adhérence/résistance augmente en effet lorsque la taille des granulats diminue [9].

Pour les granulats autres que les sables, les plus recommandés sont ceux concassés assez durs, de taille moyenne, de bonne adhérence et de forme la plus cubique possible.

Dans la pratique la désignation granulats d/D se rapporte grossièrement à un gravier dont la dimension des grains s'étale de d à D .

Du point de vue de la grosseur maximale des granulats les bétons sont classés de la manière suivante :

Tableau II-1 : Classification des bétons en fonction de la grosseur des granulats [8].

Valeurs de D_{max} (mm)	Classification des bétons
$D = 8$	Béton très fin
$10 \leq D \leq 16$	Béton fin
$20 \leq D \leq 25$	Béton moyen
$31.5 \leq D \leq 50$	Béton gros
$63 \leq D$	Béton très gros

La qualité et la nature des roches ainsi que la forme des grains ont une grande importance : Les calcaires tendres, les feldspaths, les schistes, les matériaux poreux (absorption d'eau supérieure à 3 ou 5%) et les grains en forme de plaquettes et aiguilles (coefficient volumétrique supérieur à 0.20) sont prohibés.

Par contre les matériaux présentant une bonne adhérence au mortier et au liant sont très recherchés. On peut citer par ordre préférentiel : les calcaires, le silex et les roches éruptives) [8].

La résistance globale de l'association granulat-liant est surtout fonction de la qualité des gros granulats, d'où l'intérêt d'utiliser des granulats de qualité et de dimensions maximales compatible avec une bonne facilité de mise en œuvre tenant compte de l'épaisseur de la pièce, de la densité du ferrailage, de l'espacement des armatures, de la complexité du coffrage, etc.

La qualité des granulats dont dépend la résistance globale du béton est liée à la propreté, à la dureté et à la forme des grains.

Les granulats comportant une présence d'impuretés telles que la gangue argileuse ou des poussières fines risquent de compromettre l'adhérence pâte-granulats.

La résistance globale du béton dépend également de la résistance propre des grains d'un granulat. L'influence est notable surtout en compression. Mais d'un autre côté l'adhérence peut même être plus importante que la résistance et la dureté des grains d'un gravier lui-même.

Ainsi, toutes choses égales par ailleurs, un béton confectionné avec des graviers calcaires présente en traction une résistance supérieure à celle d'un béton de graviers siliceux de meilleure dureté car la pâte de ciment adhère si bien au calcaire que la rupture se fait à l'intérieur des graviers calcaires eux-mêmes, alors que dans le cas des graviers siliceux la rupture se fait par décolllement.

Par ailleurs, la résistance d'un béton, (comme il a été déjà cité), dépend de la forme des granulats. En effet, la mise en place d'un béton exige un excès d'eau pour lubrifier les grains du mélange de façon à atteindre une ouvrabilité normale. Cet excès d'eau sera d'autant plus faible que les grains seront plus arrondis.

A titre d'exemple, un béton à granulats roulés exige un rapport E/C de 0.45 pour atteindre une consistance plastique ($a = 6$ cm), alors qu'il nécessite, toutes choses égales par ailleurs, un rapport E/C = 0.55 avec les granulats anguleux.

Comme la résistance dépend du facteur E/C, les granulats "sphériques" permettront de fabriquer des bétons de meilleures résistances que ceux réalisés avec des granulats plats ou en aiguille [6].

II-2-2-1-1 Dimension maximale D des granulats :

Cette dimension dépend évidemment des dimensions de l'ouvrage (barrages, digues et murs de quai, structures de bâtiments, voiles minces, etc.), mais elle dépend également des dispositions du ferrailage (densité relative par rapport au coffrage, maillage).

Pour définir approximativement une valeur admissible de D on préconise l'application des règles résumées dans le tableau II-1.

Le rayon moyen r d'une maille de ferrailage est le rapport entre la surface de la maille et son périmètre.

Le rayon moyen R du moule est le rapport entre le volume à remplir dans la zone la plus ferrillée et la surface et la surface de coffrage et d'armatures en contact avec le béton.

Tableau II-2 : Dimension admissible D pour les plus gros granulats [2].

Caractéristiques de la pièce à bétonner	Valeur maximale de D
e espacement entre armatures principales	E
r rayon moyen des mailles de ferrailage	0.8 r
R rayon moyen du moule	R
Hm épaisseur minimale de la pièce	hm/5

Pour tenir compte de la couverture "c", (épaisseur d'enrobage des armatures les plus proches du coffrage), on pourra adopter les recommandations du comité euro-international du béton (C.E.B) données au tableau II-3.

Tableau II-3 : Relation entre la valeur de Dmax. et l'épaisseur d'enrobage [2].

Milieu ambiant	c minimal	D maximal
Locaux couverts et clos	1 cm	2 c
Exposition aux intempéries	2 cm	1.5 c
Milieu agressif	3 cm	c
Milieu très agressif	4 cm	c – 5 mm

Nota : c doit, par ailleurs, être supérieur ou égale au diamètre des Armatures (ou à la largeur du paquet d'armatures).

La figure II-1 montre l'influence du diamètre maximal des granulats sur la résistance à la compression du béton à 28 jours [11].

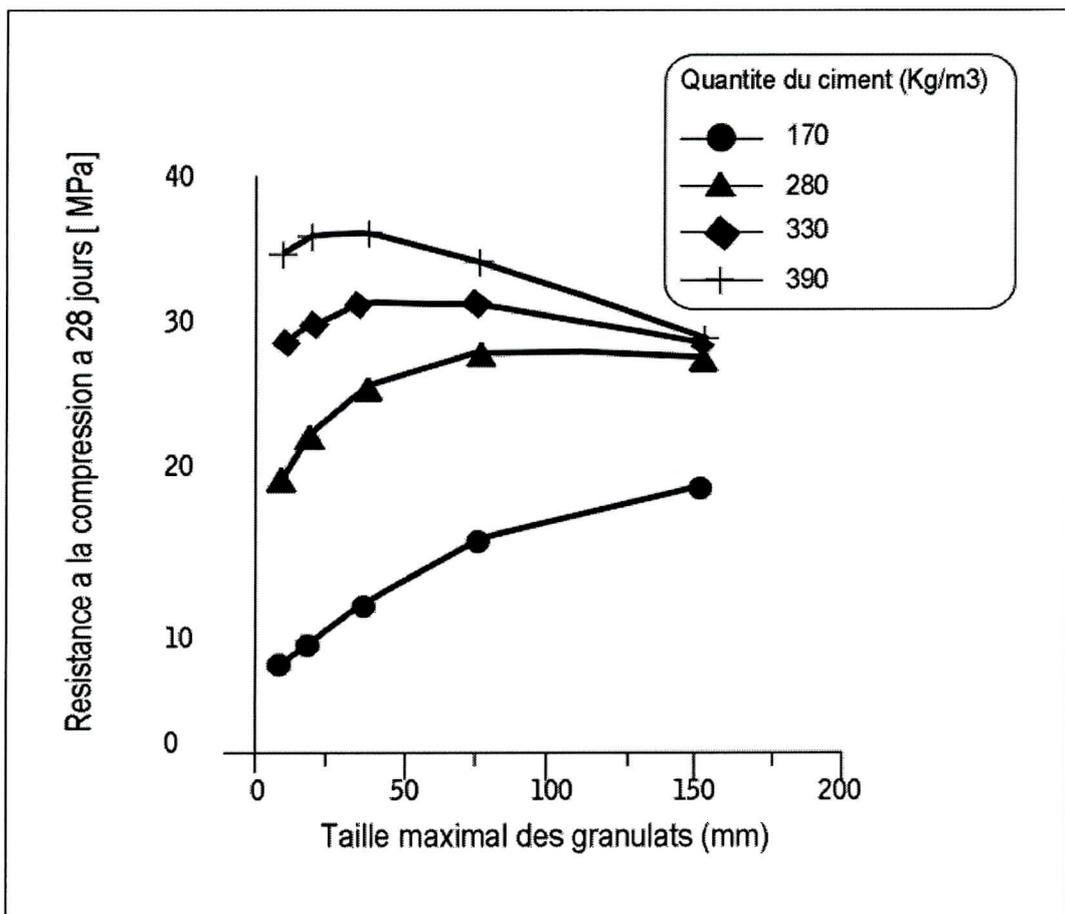


Figure II-1 : Influence du diamètre maximal des granulats sur la résistance en compression du béton à 28 jours d'âge [11].

II-2-2-1-2 Nature des granulats :

Les granulats constitués de roches de module d'élasticité élevé conduisent à des retraits plus faibles. Sur la figure II-2 est représentée l'influence de la nature minéralogique des granulats sur le retrait et le gonflement. On constate que le retrait est plus important pour un béton confectionné de granulats calcaires relativement tendre par rapport à un béton utilisant du quartz. Les essais ont montré que l'augmentation du module d'élasticité des granulats dans un rapport de 1 à 8 entraîne une réduction du retrait du béton dans un rapport de 1 à 3 [6].

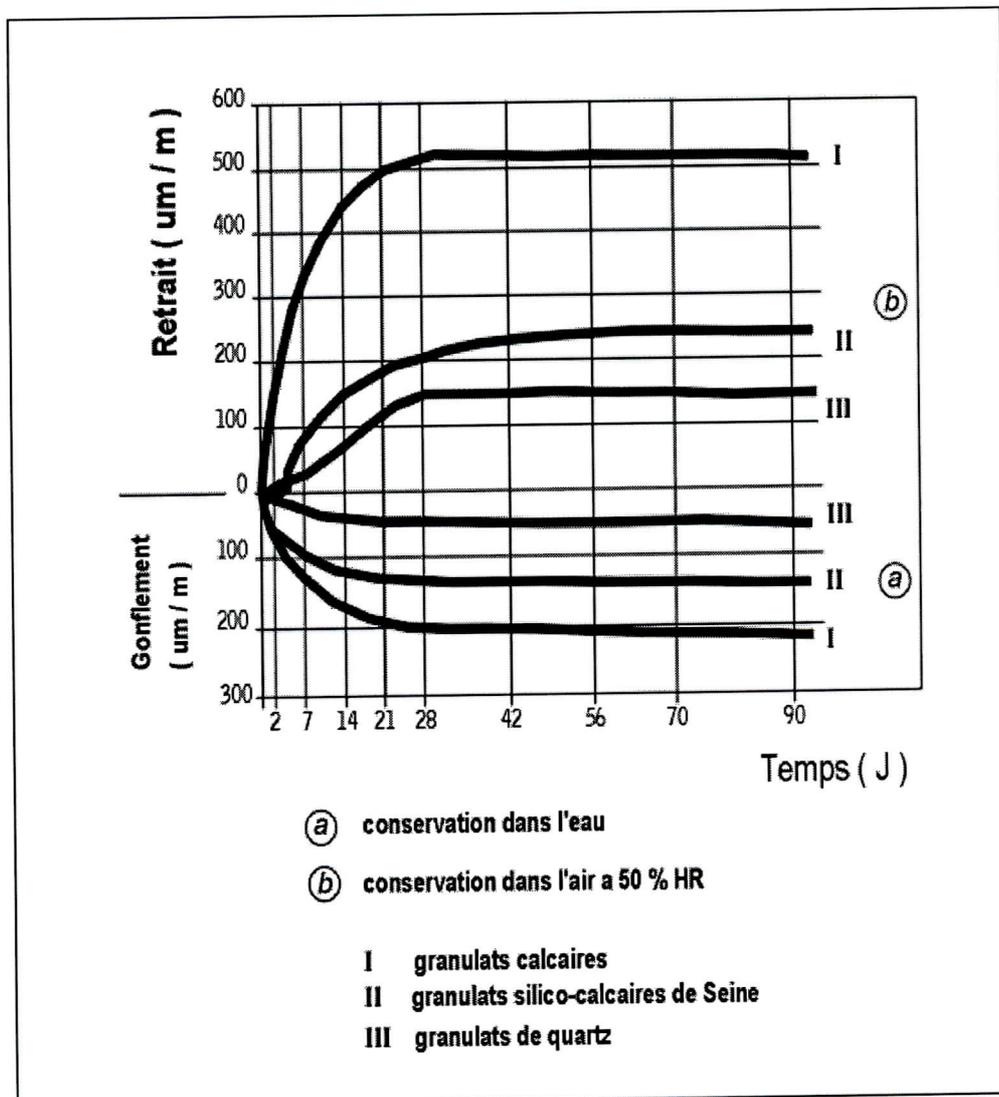


Figure II-2 : Retrait et gonflement des bétons confectionnés avec différents granulats [6].

II-2-2-2 Les sables :

Les sables constituent la partie fine des granulats d'un béton. Ils sont donc la partie qui à la plus grande surface spécifique et conditionnent par leur adhérence au ciment les propriétés du béton durci [12].

La granulométrie d'un sable à béton est une caractéristique importante qui influe sur le dosage en liant et aussi sur le dosage en eau, la compacité, et donc sur la durabilité du béton [13].

II-2-2-2-1 La propreté :

La propreté est vérifiable par l'essai d'équivalent de sable. Elle est essentiellement fonction de l'intensité du lavage à la carrière. Il est à rappeler qu'un sable trop lavé (E.S. très élevé est quelquefois déconseillé, surtout dans le cas de sables déjà pauvres en éléments fins. En effet, lors du lavage, les éléments fins utiles à la maniabilité du béton, sont entraînés par l'eau. Les valeurs minimales à respecter pour l'équivalent de sable, mesuré à vue, s'étalent, suivant la destination du béton de 70 à 85 [14].

Tableau II-4 : Valeurs préconisées pour l'équivalent de sable [14].

ES à vue	ES piston	Nature et qualité du sable
ES < 65	ES < 60	<i>Sable argileux</i> : risque de retrait ou de Gonflement à rejeter pour des bétons De qualité.
$65 \leq ES < 75$	$60 \leq ES < 70$	<i>Sable légèrement argileux</i> de propreté Admissible pour bétons de qualité courante Quand on ne craint pas particulièrement le retrait.
$75 \leq ES < 85$	$70 \leq ES < 80$	<i>Sable propre</i> a faible pourcentage de Fines argileuses convenant parfaitement Pour les bétons de haute qualités (valeur optimale ES piston = 75 ; ES à vue = 80).
ES \geq 85	ES \geq 80	<i>Sable très propre</i> : l'absence presque Totale de fines argileuses risque d'entraîner Un défaut de plasticité du béton qu'il faudra Rattraper par une augmentation du dosage en Eau.

II-2-2-2 Influence de la propreté des sables sur la résistance du béton :

Les figures II-3 et II-4 suivantes expliquent bien les commentaires sur les valeurs de l'Equivalent de Sable du tableau II-4.

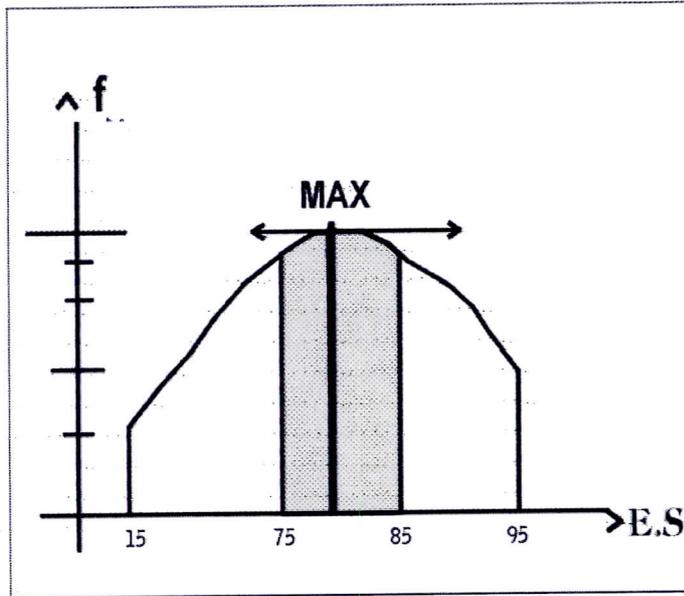


Figure II-3 : Résistance du béton en fonction de l'équivalent de sable [40].

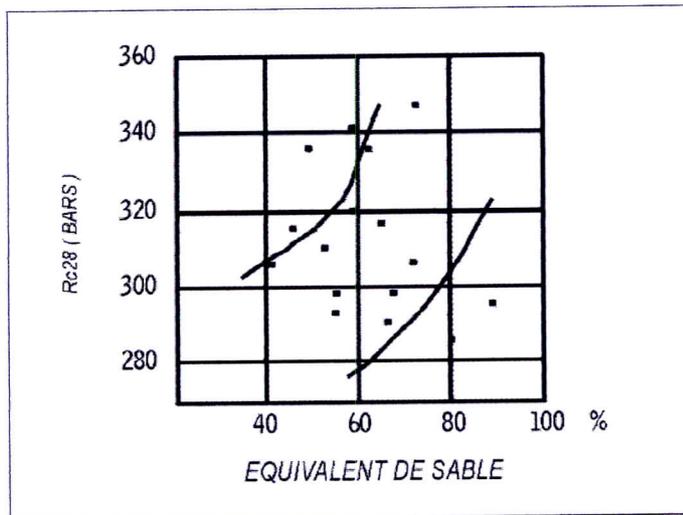


Figure II-4 : Domaine de variation des résistances du béton en fonction de l'équivalent de sable E.S [17].

II-2-2-3 Le module de finesse :

Le module de finesse pour un sable est égal au 1/100 de la somme des refus aux tamis de maille : 0.16 ; 0.315 ; 0.63 ; 1.25 ; 2.5 et 5 mm.

Des études expérimentales [15] ont montré qu'un bon sable à béton est celui dont le module de finesse est proche de 2.5.

La courbe d'un tel sable doit donc se situer à l'intérieur d'un fuseau recommandé pour la granulométrie des sables à béton de structures dont le module de finesse est de 2.2 à 2.8 [13].

II-2-2-4 Influence du module de finesse sur certaines qualités du béton :

Les sables de modules de finesse compris entre 1.8 et 2.2, sont à majorité d'éléments fins et très fins ce qui nécessite une augmentation du dosage en eau pour la facilité de mise en œuvre du béton.

Les sables à module de finesse allant de 2.8 à 3.2, correspondent à des sables qui conduisent à des résistances élevées, mais donnent en général, une moins bonne ouvrabilité et des risques de ségrégation [3].

La figure II-5 montre la variation de la résistance en compression de la porosité et de la quantité d'eau en fonction du module de finesse.

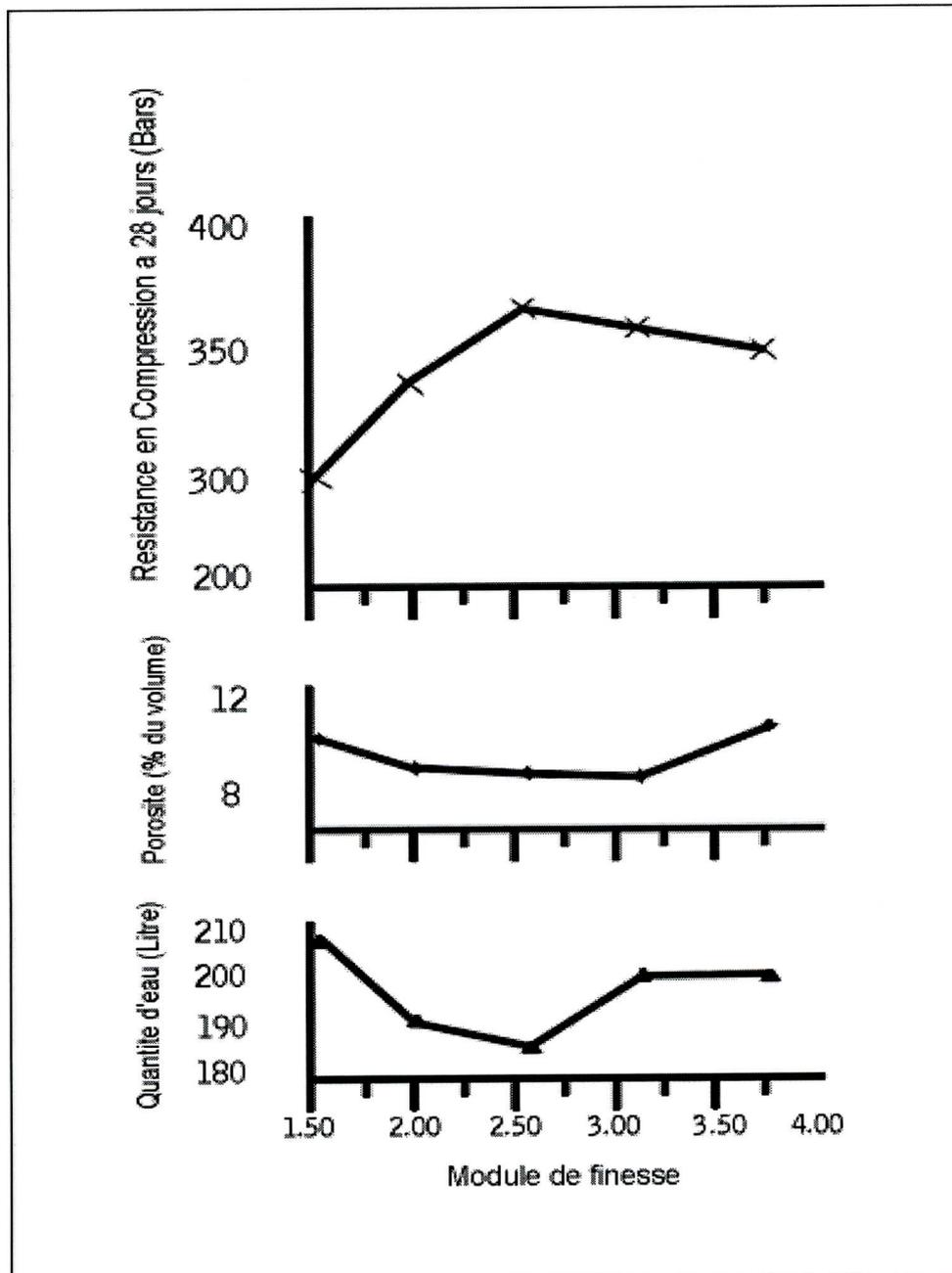


Figure II-5 : Variation de la résistance en compression, de la porosité et de l'eau en fonction du module de finesse [15].

La figure II-6 montre les variations de la plasticité et de la résistance d'un béton en fonction du module de finesse à dosage en eau constant.

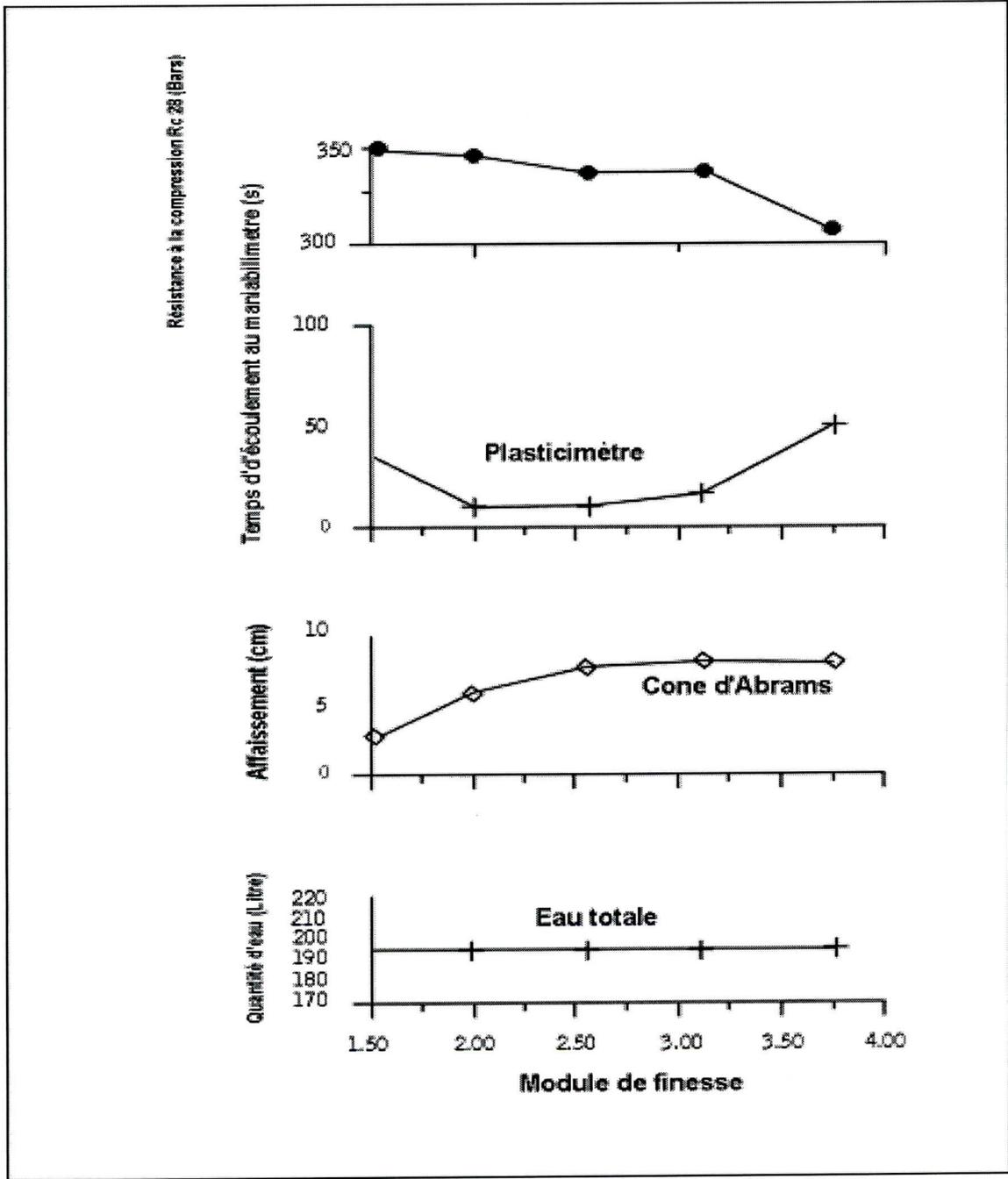


Figure II-6 : Variation de la plasticité en fonction du module de finesse à dosage en eau constant [15].

Les figures II-7 et II-8 montrent successivement la variation du coefficient de perméabilité et de la résistance en fonction du module de finesse.

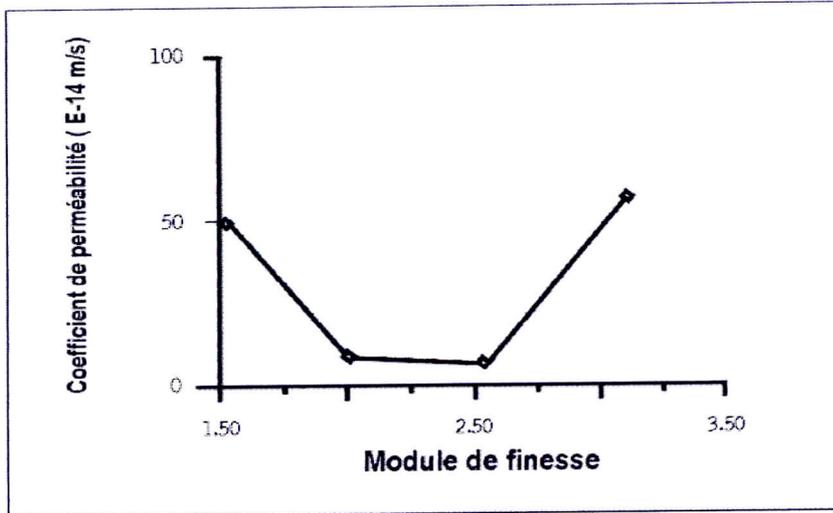


Figure II-7 : Perméabilité mesurée par écoulement de kérosène sous pression (20 bars) et pendant une heure (un dosage en ciment de 350 kg/m³) et un affaissement constant [15].

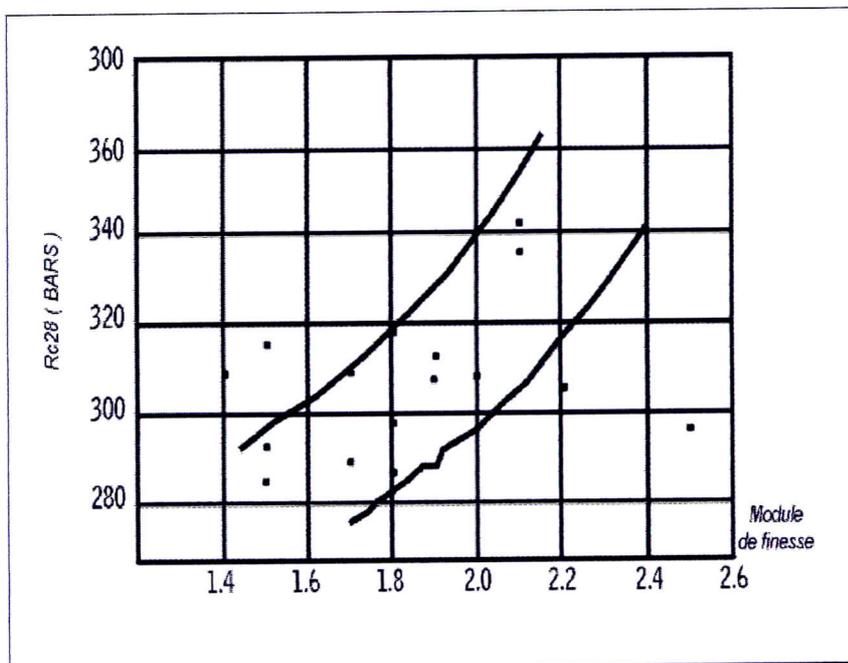


Figure II-8 : Relation approximative entre le module de finesse et la résistance en compression du béton [17].

II-2-2-3 Les états de surface des granulats :

Dans le béton, les grains d'un granulat sont liés par la pâte de ciment qui constitue une matrice pour ces derniers. L'adhérence pâte-granulats est alors un facteur important du point de vue résistances mécaniques du béton. On conçoit donc que l'état de surface des granulats, surtout du sable, est un paramètre qui influe beaucoup sur les performances physico-chimiques des bétons. Par ailleurs l'état de surface d'un granulat n'influe pas uniquement sur l'adhérence, mais également sur l'ouvrabilité du béton.

Du fait de l'impossibilité de la caractérisation précise de l'état de surface des granulats, on ne peut évaluer l'influence de la forme, de l'angularité et de la rugosité que par des tendances estimées par l'observation de la mise en œuvre du béton et des surfaces de ruptures des éprouvettes d'essais mécaniques. Ces tendances qualitatives sont données au tableau II-5 [7].

Tableau II-5 : Influence qualitative des paramètres d'état de surface sur la facilité de mise en œuvre du béton et l'adhérence pâte-granulats [7].

Caractéristique du granulat	Mise en œuvre	Adhérence
Mal propreté du granulat	Défavorable	Très défavorable
Granulat roulé (angularité faible ou nulle)	Favorable	Défavorable
Granulat concassé (angularité maximale)	Défavorable	Favorable
Forme mauvaise (granulats roulés)	—	Défavorable
Forme mauvaise (granulats concassés)	défavorable	Très défavorable

II-2-3 Les ciments :

Les ciments sont des liants hydrauliques qui peuvent durcir et se conserver aussi bien dans l'eau qu'à l'air libre.

Les liants (poudres finement broyées) sont mélangés à l'eau pour donner une pâte plastique qui, sous l'influence des processus physico-chimiques, passent à l'état pierreux. Cette propriété est mise à profit pour la préparation des mortiers et des bétons.

II-2-3-1 Choix du ciment :

Le choix du ciment est fonction de la destination du béton.

Le choix du liant porte principalement sur les éléments suivants :

- la nature, la teinte,
- les performances mécaniques,
- les délais de prise,
- la composition chimique,
- la chaleur d'hydratation...

La classe et la nature du ciment doivent convenir tant du point de vue de la résistance mécanique escomptée que de la vitesse de durcissement, de la résistance aux attaques chimiques, du retrait, du fluage, etc. Il ne faut pas oublier que le béton est attaquable par de nombreux agents chimiques qui agissent en général sur le liant à savoir : les sulfates, les sels de magnésie, les eaux de mer, les eaux organiques et les eaux très pures. Certains ciments (par exemple CLK : ciment de laitier au clinker) sont mieux adaptées que d'autres pour résister à ces attaques [8].

II-2-3-2 Influence de la nature du ciment :

Le ciment est l'élément qui a la plus grande influence sur la résistance du béton. Il intervient principalement par la composition chimique du clinker, les ajouts éventuels (laitier, cendres volantes pouzzolanes) et la finesse.

La figure II-9 montre l'évolution des résistances en compression d'un béton gâché avec trois ciments de nature différente : un CPA HPR, un CPA 45R et un CPJ 45 [6].

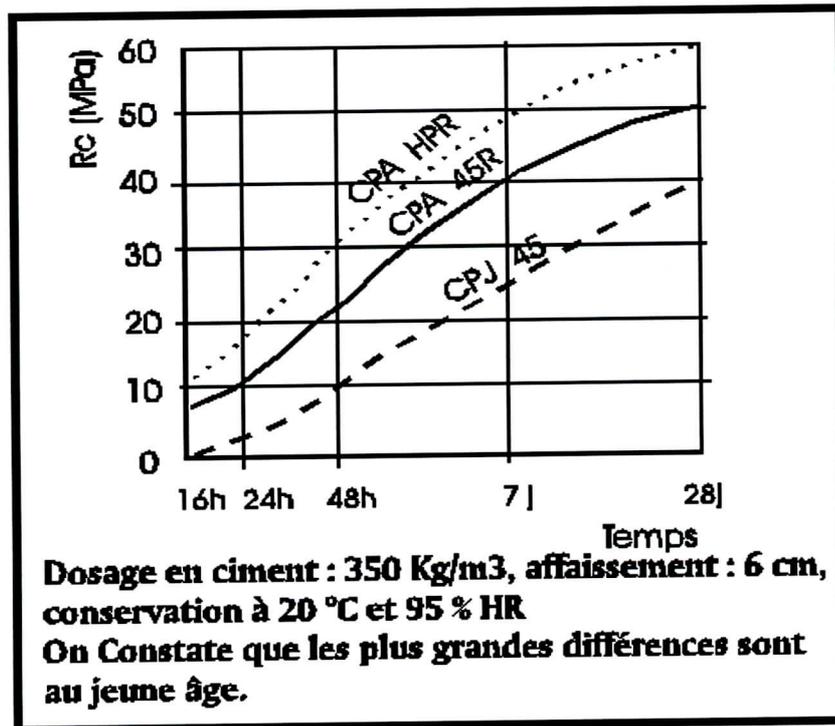


Figure II-9 : Influence de la nature du ciment sur l'évolution des résistances en compression [6].

La résistance du béton évolue dans le temps avec l'hydratation du ciment. Le liant influe par sa nature et sa qualité. D'après Vénuat, plus la teneur en aluminat tricalcique est élevée, plus le ciment est résistant surtout au jeune âge. L'influence des grains fins du ciment est importante aux premiers jours. Ces grains fins (< 10 µm) sont plus riches en aluminat tricalcique et s'hydratent plus vite ce qui accentue la résistance [6].

Pratiquement les résistances du béton croissent linéairement aux jeunes âges en fonction de la finesse de mouture du liant et ce jusqu'à 7 jours. Par la suite l'influence de la finesse devient relativement moins importante [6]. La figure II-10 montre l'évolution de la résistance en compression du béton en fonction de la finesse du ciment.

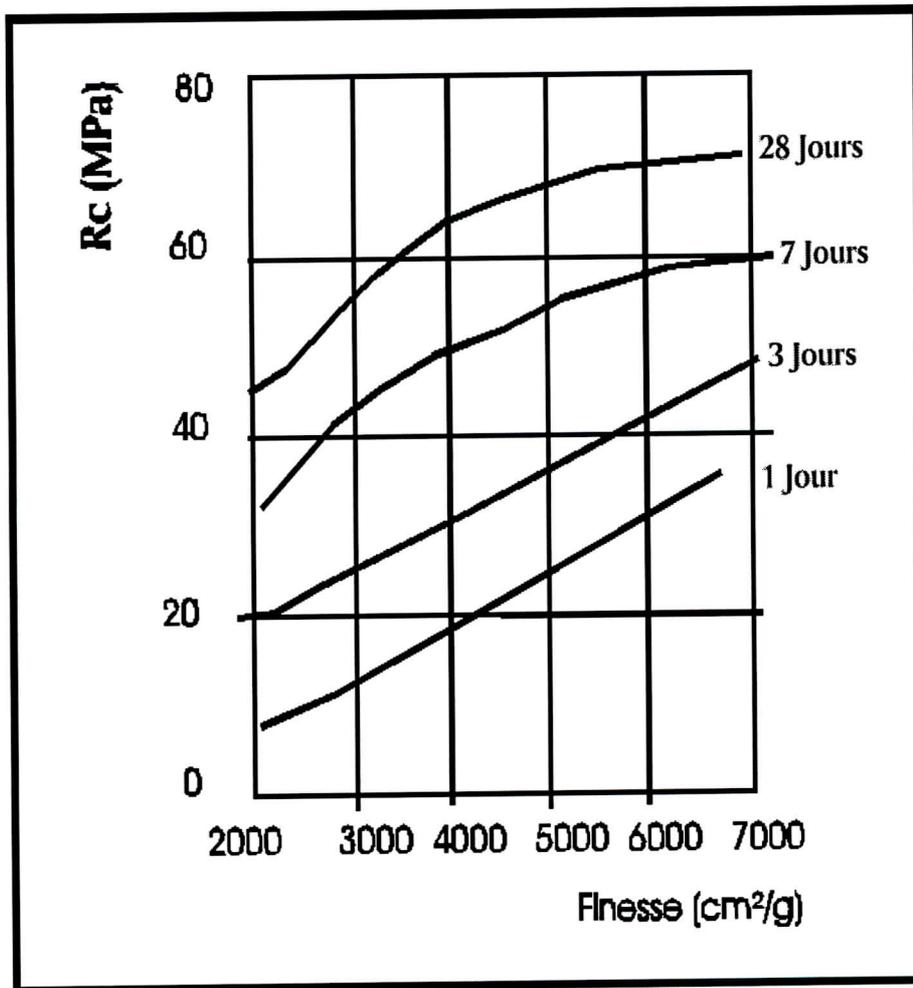


Figure II-10 : Résistance en compression d'un béton en fonction de la finesse du ciment [6].

La figure II-11 montre l'évolution de la résistance en compression d'un béton, de consistance donnée (affaissement : 5 cm) confectionné avec différents dosages en ciment (de 200 à 450 kg/m³).

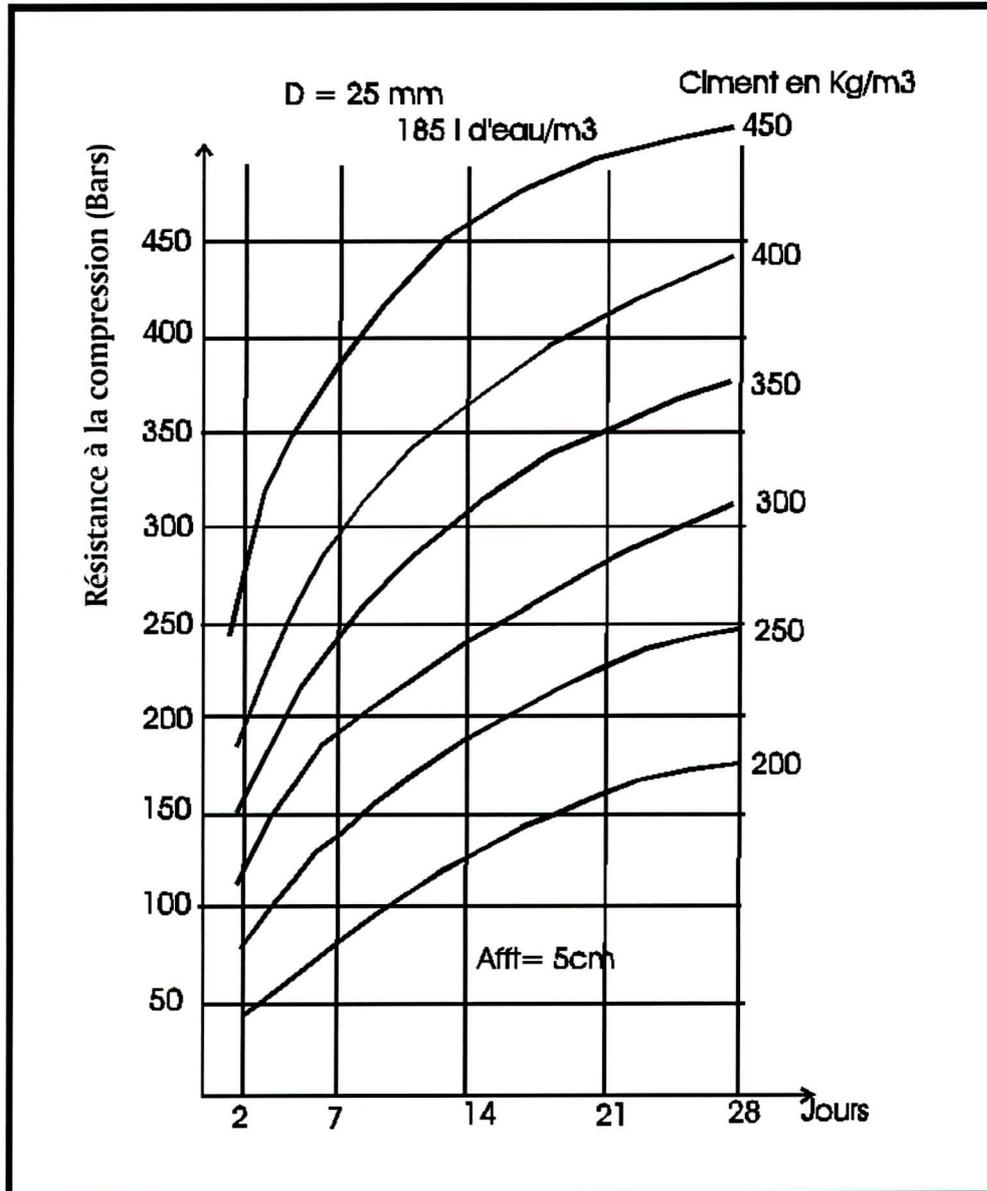


Figure II-11 : Courbes de résistance à la compression jusqu'à 28 jours de béton dosés de 200 à 450 Kg/m³ [14].

La dispersion des résultats d’essai en compression sur le ciment, malgré le respect des normes, est relativement importante. En général, la résistance réelle d’un ciment se situe dans une fourchette de -10 à +10 MPa par rapport à sa résistance de classe [3].

Dans le cas d’une bonne maîtrise de la production du ciment l’écart type de la résistance pour un ciment portland ordinaire fourni par la même usine est de 3 MPa. Cette dernière valeur est de 5 MPa pour des ciments produits dans des usines différentes [16].

II-2-3-3 Influence du dosage en ciment sur le retrait du béton :

Les retraits du mortier et du béton augmentent avec le dosage en ciment. Le tableau II-6 donne quelques valeurs de retrait en fonction du dosage en ciment. Ces valeurs ont été obtenues sur des bétons conservés durant un an

Tableau II-6 : Influence du dosage en ciment sur le retrait du béton [6].

Dosage en ciment Kg/m ³	Retrait du béton durci µm/m
250	250
350	350
450	400

Nous ne quitterons pas ce paragraphe sans signaler que c’est le CPA 325 qui le plus souvent utilisé dans les chantiers algériens. Néanmoins, durant ces dernières années nous avons constaté que les chantiers s’approvisionnent de plus en plus en CPJ (ciments portland composés).

Dans un climat chaud , tel que le notre, il est recommandé d’utiliser des ciments à faible chaleur d’hydratation [17].

II-2-4 L'eau :

II-2-4-1 Rôle de l'eau :

L'eau est un facteur capital, trop négligé par le bétonnier.

Elle joue un rôle multiple. Elle sert :

- A L'hydratation du ciment,
- Au mouillage des granulats (car la pâte de ciment colle mal à des granulats secs),
- A faciliter le malaxage et la mise en œuvre (améliore la maniabilité du béton).

II-2-4-2 Dosage en eau :

L'eau est le fluidifiant de base des bétons. Il est bien connu qu'un excès d'eau est néfaste et provoque une perte d'homogénéité, donne lieu au ressuage et de la ségrégation, à un retard de prise, à une baisse des résistances mécaniques et d'une façon générale un amoindrissement de la pérennité du béton et aussi un mauvais aspect des surfaces brutes au décoffrage [1].

Le dosage en eau peut s'effectuer soit pondéralement, soit volumétriquement. Les deux systèmes s'utilisent couramment sur les chantiers et dans les usines de préfabrication, mais ce sont les techniques pondérales qui sont les plus précises.

II-2-4-3 Caractéristiques physico-chimiques de l'eau :

L'eau de gâchage des bétons doit être propre : ne pas contenir de matières en suspension ou des sels au-delà des valeurs citées dans le tableau II-7 qui suit :



Tableau II-7 : Quantités maximales de matières en suspension et de sels autorisées dans l'eau de gâchage [14].

Quantités maximales de	Béton A et B	Béton C
Matières en suspension	2 g/l	5 g/l
Sels dissous	15 g/l	30 g/l

Avec :

- Béton A : Béton à hautes qualités à forte résistance.
- Béton B : Béton à grande imperméabilité.
- Béton C : Béton courant peu ou non armé.

Ceci à condition que ces sels dissous ne puissent nuire à la conservation des bétons (acides, sulfates, matières organiques, etc.). Toute eau douteuse doit être soumise à l'analyse chimique.

Enfin l'eau de mer est admise pour le gâchage des bétons du type C, sauf avec les ciments alumineux ou le ciment de laitier à la chaux. Son emploi est aussi déconseillé avec les ciments spéciaux, pour les travaux à la mer. Il est proscrit pour les bétons armés, les bétons très armés et les bétons précontraints dont les armatures fortement tendues sont très sensibles à la corrosion [12].

II-2-5 Influence du rapport E/C :

II-2-5-1 Influence du rapport E/C sur la cohésion d'un béton :

Il existe, pour un béton donné, une teneur en eau telle que la cohésion soit maximale comme il est montré sur la figure II-12. En effet pour une faible teneur en eau, l'attraction capillaire peut être importante. Généralement, pour des bétons classiques, on se situe dans la partie descendante de la courbe [1].



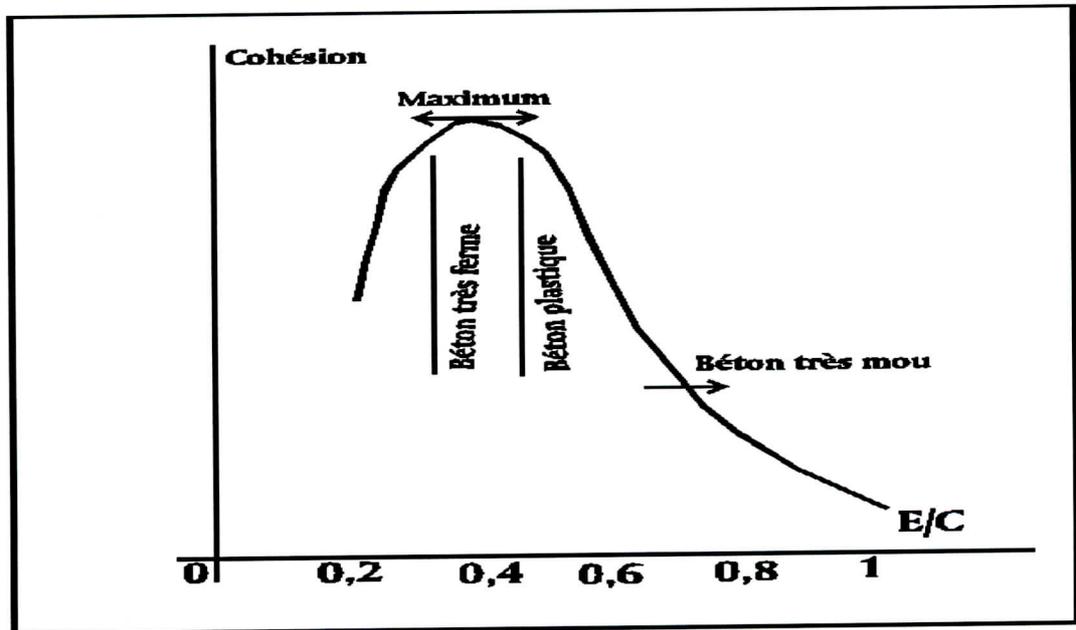


Figure II-12 : Influence de la teneur en eau sur la cohésion [1].

II-2-5-2 Influence du rapport E/C sur l'ouvrabilité d'un béton :

La figure II-13 montre l'influence de la teneur en eau et en ciment sur l'affaissement au cône sur un béton.

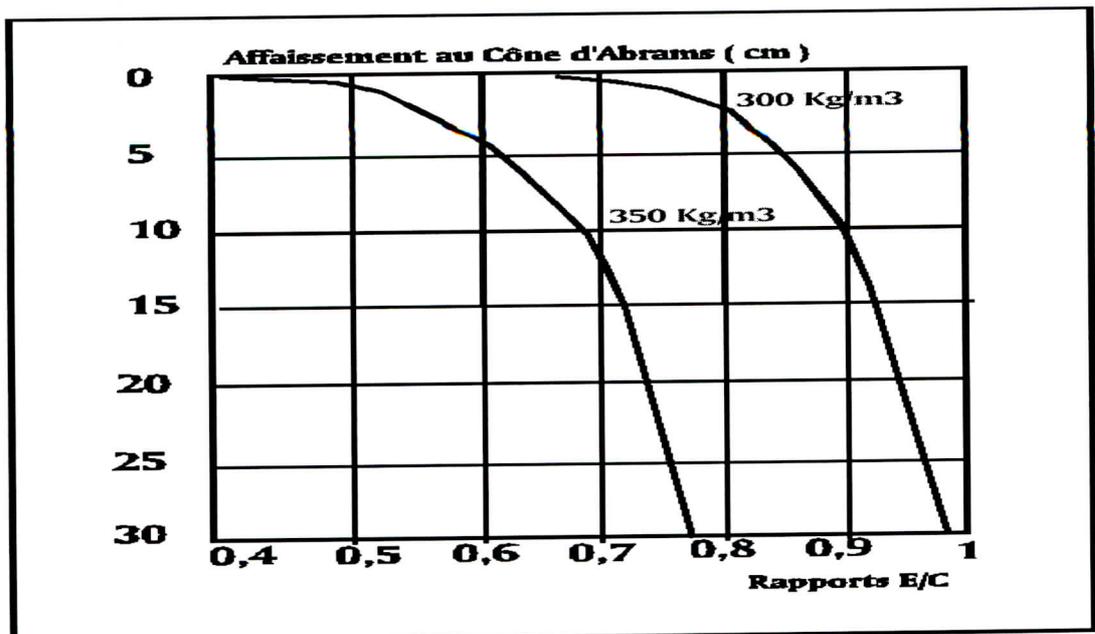


Figure II-13 : Exemple de l'influence de la teneur en eau et en ciment sur l'affaissement au cône [1].

II-2-5-3 Influence du rapport E/C sur la résistance du béton :

Le rapport E/C permet de définir la quantité d'eau optimale qui permet d'atteindre une compacité optimale du béton en place.

Il existe alors un rapport critique E/C pour une certaine surface spécifique de grains en présence, nécessitant l'eau de mouillage strictement nécessaire à la cohésion. Ainsi si l'on accroît l'apport de sable fin, il faudra augmenter l'eau pour atteindre le rapport E/C donnant la résistance optimale.

La résistance du béton frais augmente avec le dosage en eau jusqu'à une valeur du dosage en eau dite optimale. Au-delà de cette valeur optimale l'augmentation du dosage en eau a un effet contraire [10].

La figure II-14 montre la variation de la résistance en compression d'un béton sans adjuvant en fonction du rapport E/C, pour une énergie de mise en œuvre donnée. On a donc intérêt, pour obtenir une bonne résistance, à mettre peu d'eau, mais les bétons secs sont très difficiles à mettre en œuvre, et il y a des risques de trouver des vides ou des nids de cailloux dans le béton. Pour cette raison, la plasticité du béton doit être en rapport avec la puissance de vibration dont dispose le chantier.

De plus le manque d'eau peut empêcher l'hydratation complète du ciment, ce qui entraîne alors une baisse des résistances mécaniques finales.

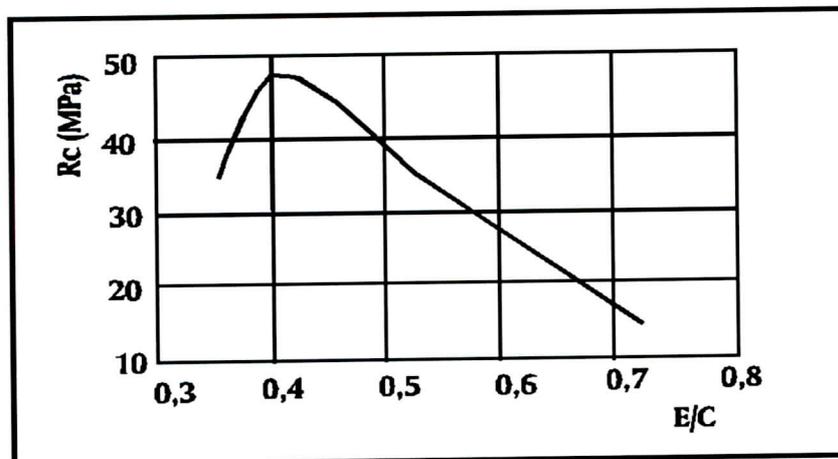


Figure II-14 : Résistance à la compression sur cylindre en fonction du rapport eau/ciment [6].

Le facteur E/C est tout aussi important. Quel que soit le cas d'utilisation, il faut chercher à réduire ce rapport et éviter de dépasser 0.6 [22].

La figure II-15 montre le développement de la contrainte du béton avec différents rapports E/C. Dans ces essais un ciment à forte teneur en aluminium a été utilisé ; les conditions de conservation ont été fixées à 18°C et 95% HR [23].

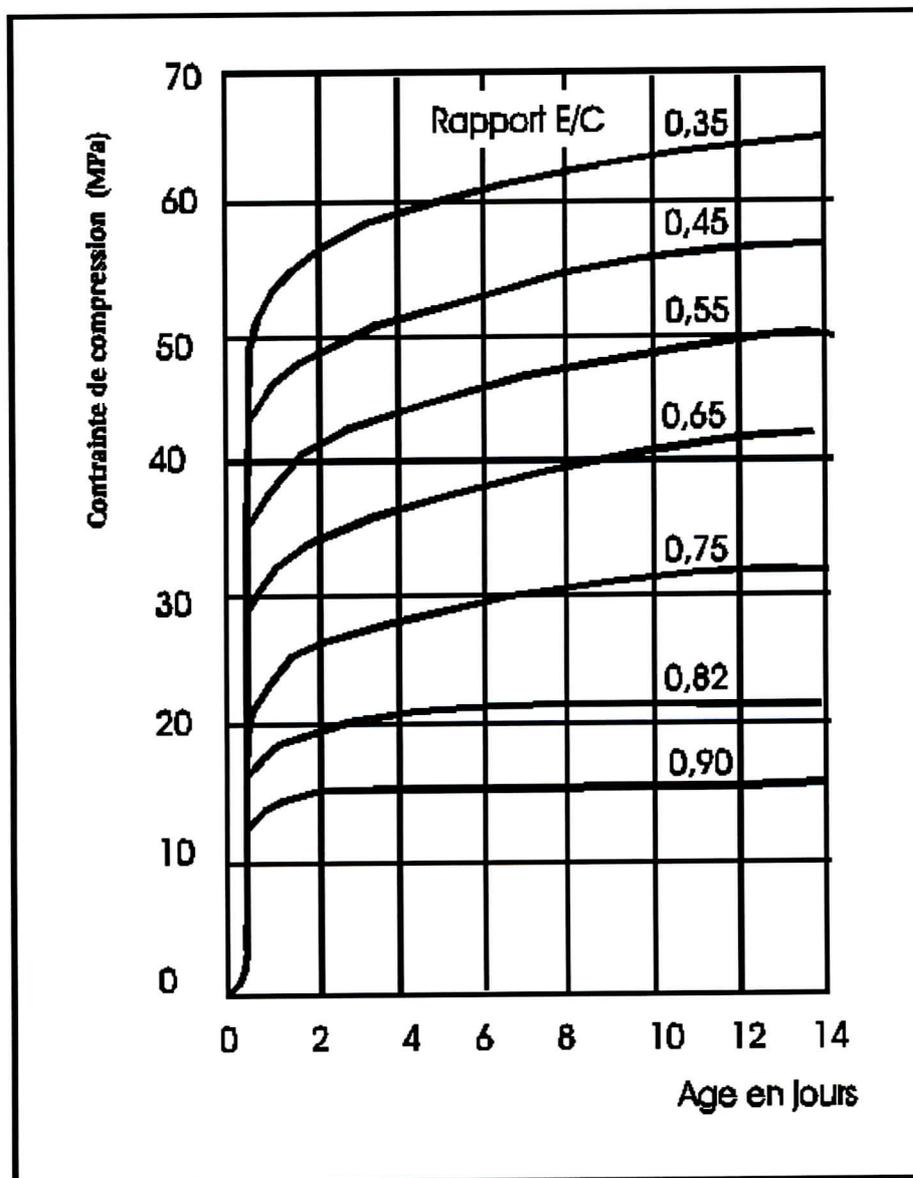


Figure II-15 : Développement de la contrainte du béton avec différents teneurs en eau E/C [23].

II-2-5-4 Recommandations du D.T.R. Algérien pour E/C :

Le Document Technique Réglementaire Algérien (D.T.R 1991) recommande, pour un dosage en ciment compris entre 300 et 400 Kg/m³, un rapport de E/C compris entre 0.4 et 0.6 avec une valeur moyenne de 0.5. Il propose E/C < 0.5 si l'on cherche à réaliser des bétons fermes, ou si le sable présente une granulométrie peu chargée en éléments fins ou si le gravier est à majorité de gros éléments et de nature poreuse ou pour des valeurs du rapport G/S>2, ou encore si l'on emploie un plastifiant ou un fluidifiant. Dans les autres cas on prend E/C >0.5 [24].

II-2-5-5 Relation entre E/C, la classe du ciment et la résistance en compression du béton :

La figure II-16 montre l'intérêt qu'il y a pour obtenir de fortes résistances à augmenter le dosage en ciment et à réduire la teneur en eau.

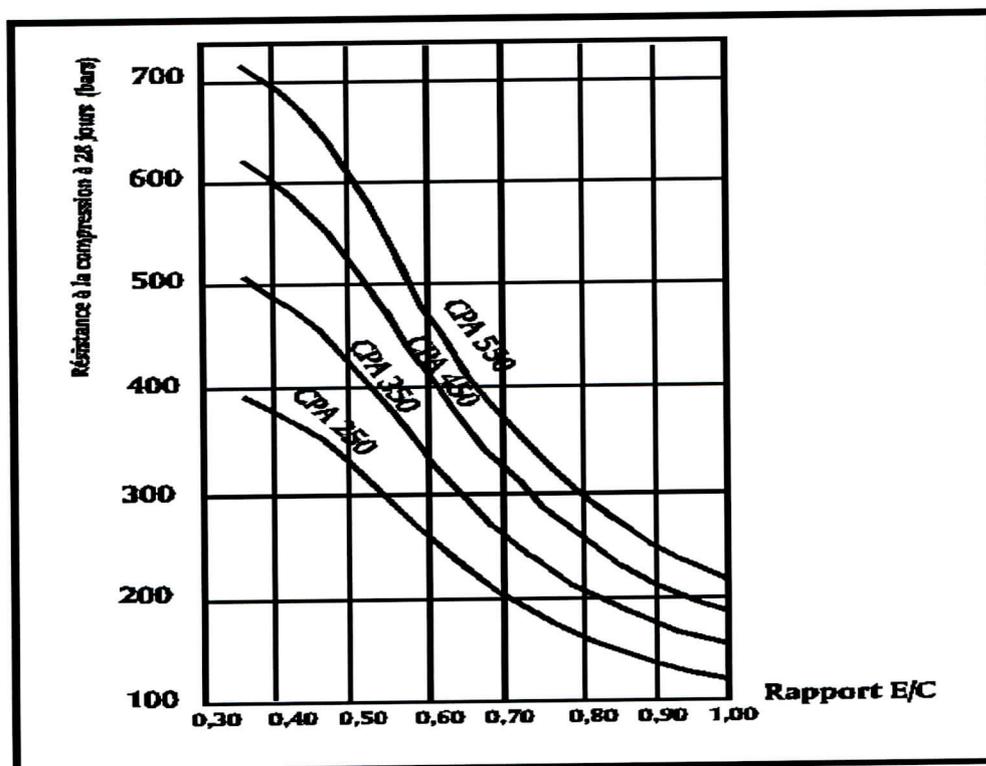


Figure II-16 : Exemple de résistances d'un béton moyen en fonction de la classe du ciment et du rapport E/C [1].

En effet, l'exemple, d'après une documentation allemande citée par [1], montre comment les résistances en compression peuvent donc varier pratiquement du simple au quadruple en passant d'un béton ayant un rapport eau/ciment = 0.65, confectionné avec un CPA 250 à un béton ayant un rapport eau/ciment = 0.40 et confectionné avec un CPA 500.

On peut voir aussi sur cet exemple que les résistances doublent :

- soit en passant d'un CPA 250 à un CPA 500, pour un même rapport E/C ;
- soit en passant d'un rapport E/C = 0.65 (155 l d'eau et 240 Kg de ciment) à un rapport E/C = 0.4 (180 l d'eau et 450 Kg de ciment) pour un ciment de même classe de résistance [1].

II-2-5-6 Evaluation du dosage en ciment en fonction du rapport C/E et de l'ouvrabilité désirée :

L'abaque de la figure II-17 présenté sur la page suivante permet d'évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport C/E et de l'ouvrabilité désirée (affaissement au cône) [3].

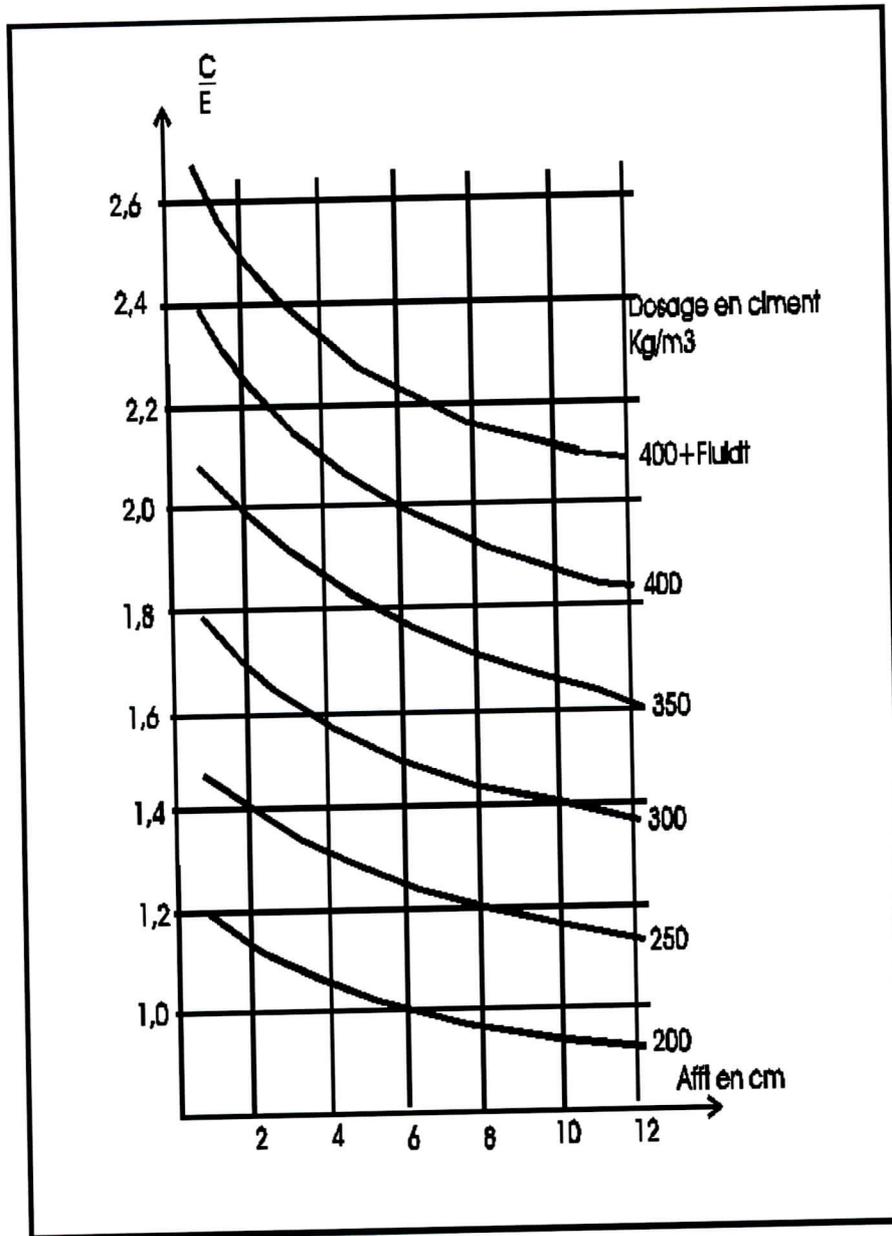


Figure II-17 : Abaque permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport C/E et de l'ouvrabilité désirée (affaissement au cône) [3].

II-2-6 Influence du rapport G/S :

II-2-6-1 Influence du rapport G/S sur la résistance du béton :

La résistance d'un béton dépend de la composition granulométrique du mélange ; le rapport G/S a une influence notable. La figure II-18 illustre l'influence du rapport G/S sur la résistance en compression du béton.

On peut remarquer sur cette même figure que pour les rapports les plus courants de G/S (compris entre 1.2 et 2.0) l'influence est relativement faible. A long terme, la résistance du liant durci est moindre que celle des granulats.

La résistance augmente plus sensiblement pour des valeurs élevées de G/S surtout pour les bétons fermes ; mais pour des raisons d'ouvrabilité il ne convient pas de dépasser $G/S = 2.0$ à 2.2 pour les bétons courants sauf si des précautions particulières sont prises lors de la mise en œuvre. La tendance actuelle est de ne pas dépasser, en général des valeurs de G/S de 1.5 à 1.6 ; c'est un léger sacrifice de la résistance au profit de l'ouvrabilité [3].

Le Document Technique Réglementaire Algérien (D.T.R. 1991) propose pour un béton normal une valeur de G/S comprise entre 1.8 et 2.0.

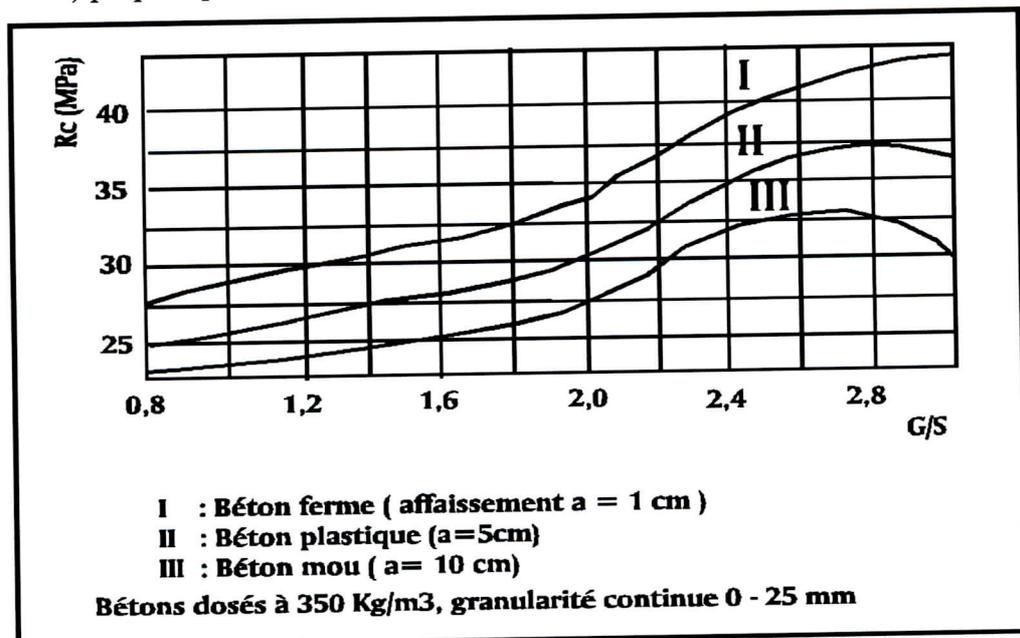


Figure II-18 : Résistance à la compression en fonction du rapport gravier/sable (G/S) [6].

II-2-6-2 Principales qualités du béton en fonction du rapport G/S :

Tableau II-8 : Principales qualités des bétons en fonction de leur G/S et de leur Granularité Continue ou discontinue [3].

Caractéristiques	Appréciations concernant les bétons	
	à G/S élevé par rapport à ceux à G/S faible	à granularité discontinue par rapport à ceux à granularité continue
Ouvrabilité	Un peu moins bonne surtout pour $G/S > 2.2$	Moins bonne surtout Pour $G/S > 2.2$
Résistance en Compression	Meilleur surtout Pour $G/S \geq 2.2$	très légèrement supérieure
Résistance en traction	Sans corrélation apparente	très légèrement inférieure
Module d'élasticité	Sans corrélation très nette sauf pour le module statique un peu plus élevé en fonction de G/S	Un peu plus élevé
Vitesse du son	Sans corrélation très nette	Légèrement supérieure
Indice sclérométrique	Un peu supérieur	Très légèrement supérieur
Retrait	Sans corrélation très nette	Moins élevé surtout si $G/S > 2.2$
Compacité, densité	Légèrement plus élevé pour $G/S > 2.2$	Un peu plus élevé

II-2-7 Influence du rapport G/C :

Le rapport agrégat/ciment affecte la résistance de tous les bétons moyens et à haute résistance, c'est-à-dire ceux ayant une résistance d'approximativement 35 MPa [23].

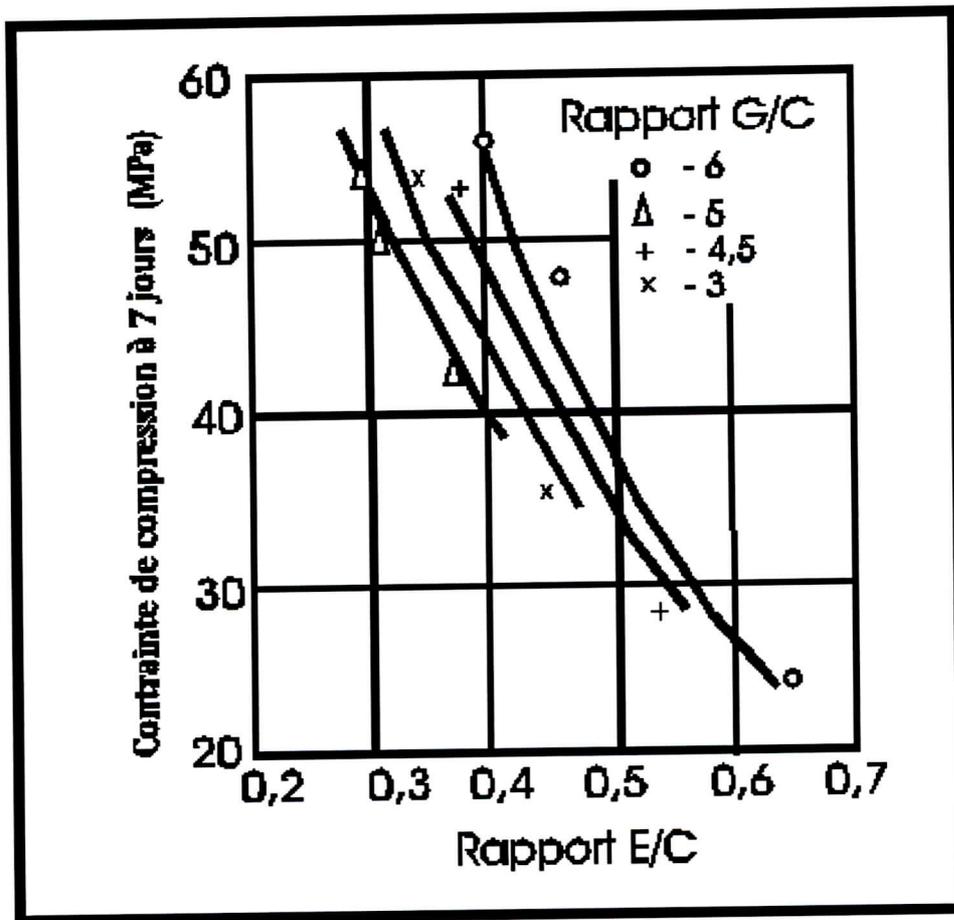


Figure II-19 : Influence du rapport G/C sur la résistance du béton [23].

Cette dernière figure montre que pour un rapport eau/ciment constant un mélange pauvre en ciment conduit à une plus grande résistance.

II-3 FACTEURS DE MISE EN ŒUVRE :

II-3-1 Les adjuvants :

Les adjuvants sont des produits qui, ajoutés à moins de 5% du poids du ciment, au moment du malaxage des mortiers et des bétons améliorent certaines de leurs propriétés.

L'emploi des adjuvants ne doit pas détériorer les caractéristiques du béton ou du mortier. Néanmoins, une faible diminution de certaines de ces caractéristiques peut éventuellement être acceptée. En effet l'emploi d'un adjuvant peut entraîner des conséquences dites "effets secondaires" : faibles baisses de résistances mécaniques, porosité, retard de prise. Les utilisateurs doivent donc se renseigner auprès des fournisseurs sur les effets secondaires.

II-3-1-1 Les principaux adjuvants et leur emploi :

Les adjuvants permettent de modifier une ou plusieurs propriétés des bétons parmi lesquelles les temps de prise et de durcissement, l'ouvrabilité, les résistances mécaniques, le retrait, l'imperméabilité et la résistance au gel et aux eaux agressives. Il faut éviter au maximum les erreurs sur les dosages utilisés et les incompatibilités avec les liants (un adjuvant peut être efficace avec un CPA et néfaste avec un CLK) [1]. Le tableau II-9 de la page suivante résume les principaux adjuvants, leurs rôles et leurs domaines d'utilisation d'après [1],[3],[12],[16].

Tableau II-9 : Rôles et utilisations des principaux adjuvants [1],[3],[7], [12]

Dénomination de l'adjuvant	Rôle de l'adjuvant	Utilisations de l'adjuvant (Quelque cas)
- Fluidifiant (Réducteur d'eau).	- Améliore la plasticité et l'ouvrabilité du béton. - Permet de diminuer la quantité de l'eau de gâchage, donc Améliore la résistance.	- Nécessité d'une bonne ouvrabilité. - Préfabrication. - Bétons à hautes résistances.
- Plastifiant.	- Améliore la plasticité et l'ouvrabilité du béton. - Diminue le ressuage.	- Béton pompé. - Béton routier. - Sables manquants de fines. - Béton très ferrailé.
- Accélérateur.	- Accélère la prise ou le durcissement du béton ou les deux à la fois.	- Temps froid et préfabrication. - Réparation et décoffrage rapide. - Scellements et pistes d'aérodrome.
- Retardateur.	- Retarde plus ou moins longtemps l'hydratation et le début de prise du ciment.	- Coulage par temps chaud. - Transport de béton sur de longues distances. - Reprise de bétonnage.
- Entraîneur d'air (Antigelif).	- Améliore la plasticité et l'ouvrabilité du béton ainsi que sa résistance au gel .	- Ouvrages exposés au gel et à l'action des eaux agressives. - Travaux maritimes. - Routes, Barrages et ponts.
- Antigél.	- Evite le gel du béton frais.	- Bétonnage par temps très froid (jusqu'à - 10 °C).
- Hydrofuge.	- Améliore l'étanchéité du béton - Empêche la pénétration de l'eau provenant de l'humidité du sol.	- Enduits et chapes étanches. - Citernes – Réservoirs – Piscines. - Travaux souterrains et maritimes.
- Produit de cure.	-S'étend par pulvérisation et crée sur les surfaces exposées aux agents atmosphériques, un film s'opposant à l'évaporation de l'eau du béton, lui permettant un bon durcissement.	- Tous bétons pour lesquels l'évaporation peut porter préjudice.

II-3-1-2 Influence des adjuvants sur les performances des bétons :

II-3-1-2-1 Influence d'un adjuvant fluidifiant sur la résistance du béton :

La figure II-20 montre l'évolution des résistances en compression pour deux bétons ; un béton témoin et un béton avec fluidifiant lequel a permis de réduire le dosage en eau tout en conservant une plasticité satisfaisante [19].

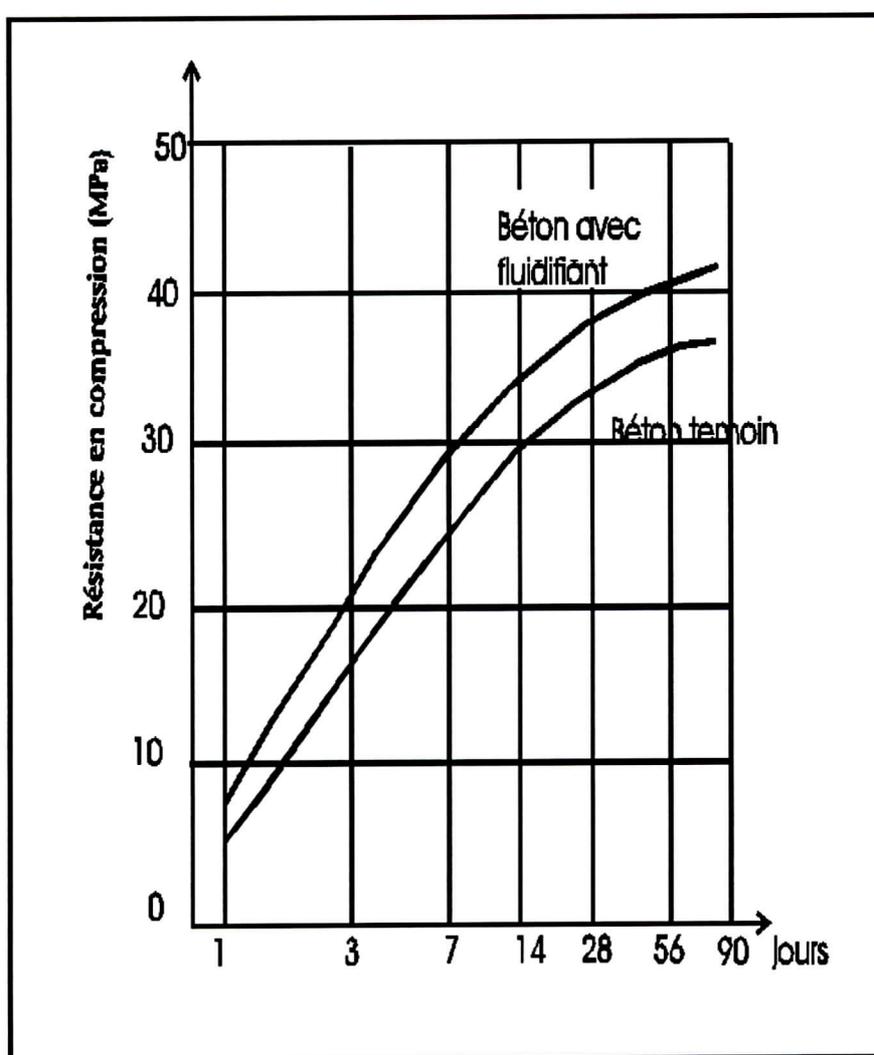


Figure II-20 : Résistances en compression de deux bétons : un béton témoin sans adjuvant et un béton avec fluidifiant [19].

II-3-1-2-2 Influence d'un adjuvant fluidifiant sur l'ouvrabilité du béton :

La figure II-21 montre clairement l'apport du fluidifiant sur l'ouvrabilité d'un béton routier pour lequel l'affaissement au cône croît de 5 cm à 20 cm après 8 minutes de malaxage en toupie [20].

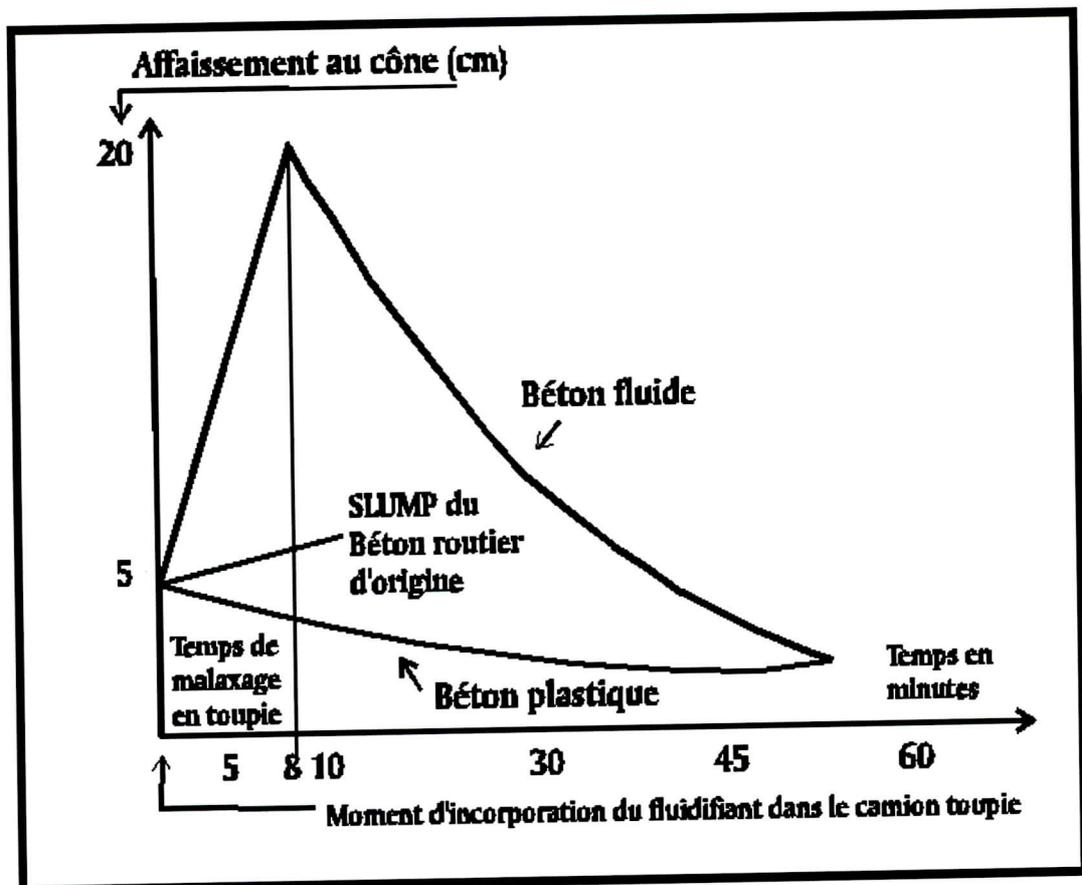


Figure II-21 : Apport d'un fluidifiant sur l'ouvrabilité d'un béton routier [20].

II-3-1-2-3 Influence d'un adjuvant superplastifiant sur l'ouvrabilité d'un béton :

La figure II-22 reproduit aussi l'effet d'un adjuvant superplastifiant sur l'ouvrabilité du béton. Ce dernier favorise la rapidité de mise en œuvre et de serrage du béton et facilite aussi le bétonnage des éléments fortement ferrailés.

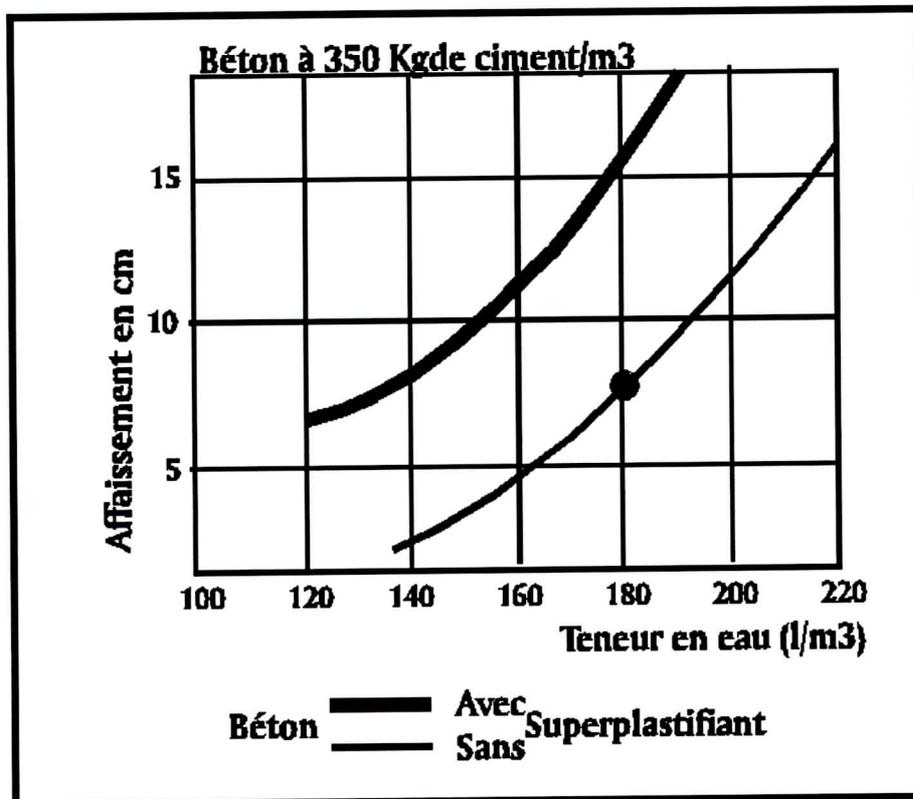


Figure II-22 : Effet d'un adjuvant superplastifiant sur l'ouvrabilité du béton [20].

II-3-1-2-4 Influence d'un adjuvant accélérateur et d'un retardateur sur la résistance d'un béton :

La figure II-23 montre l'influence comparée d'un accélérateur et d'un retardateur sur l'évolution des résistances initiales, a moyen et a long terme, du béton [19].

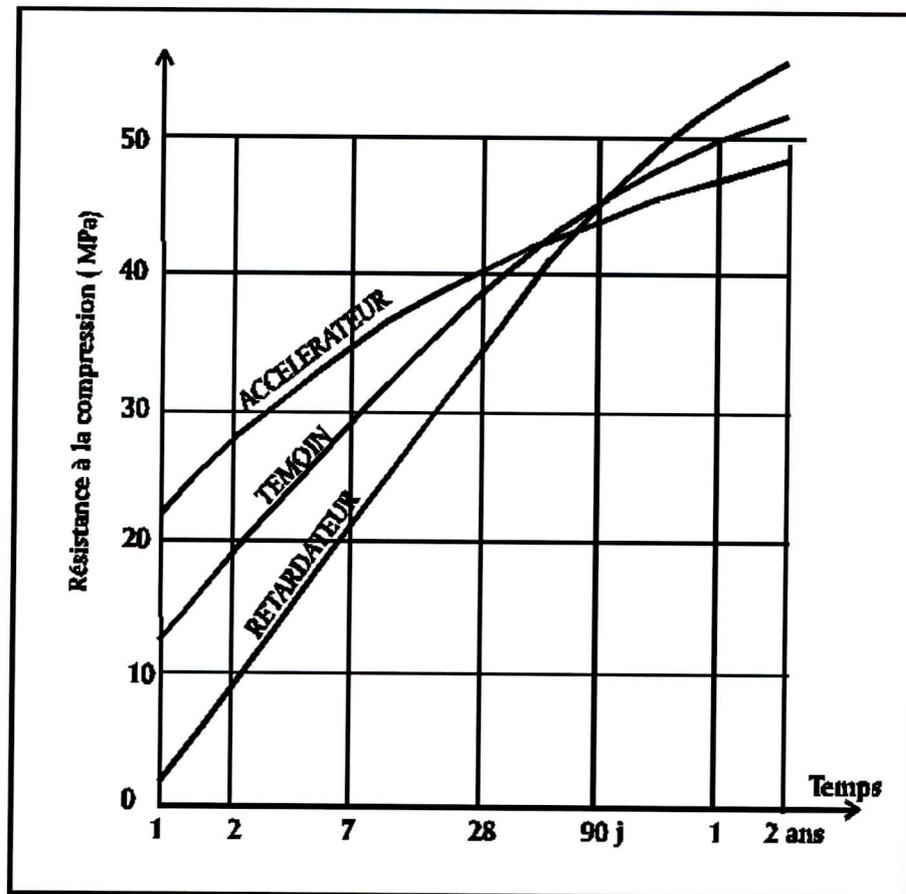


Figure II-23 : Influence comparée d'un accélérateur et d'un retardateur sur l'évolution des résistances [29].

II-3-1-3 Conclusion :

Parmi les adjuvants les plus susceptibles d'application générale on peut citer les plastifiants et les entraîneurs d'air.

Les plastifiants peuvent être d'un emploi courant et on ne risque aucun aléa avec les différents ciments et notamment avec le ciment portland sous toutes ses formes [21]. Quand on utilise des ciments spéciaux il convient toute fois de le signaler au fournisseur, ne fut-ce que pour la détermination du dosage optimum et le taux d'accroissement de résistance et d'imperméabilité de l'on peut escompter.

Il a été constaté qu'avec certains ciments riches en pouzzolanes, l'accroissement des résistances dû à l'emploi des plastifiants peut-être considérable. D'après [21] les adjuvants peuvent, d'une manière générale, être utilisés en combinant leurs effets pour atteindre de hautes performances.

Notons enfin que bien que ces adjuvants représentent une aide efficace pour le bétonnier et apportent dans certains cas difficiles des solutions à l'utilisateur, leur emploi doit être entouré de plus grandes précautions, du fait de leur action simultanée sur de nombreux paramètres. **Il ne suffit donc pas qu'un adjuvant soit efficace, il faut aussi qu'il ne soit pas nocif [7].**

II-3-2 Diverses étapes de confection des bétons :

II-3-2-1 Fabrication / malaxage :

Le malaxage du béton permet d'assurer le mélange, le plus homogène possible, des différents constituants ; c'est à dire que la composition du béton est identique en tout point. Il importe donc que les constituants soient intimement mélangés, surtout les grains de ciment à l'eau afin de faciliter leur hydratation et d'obtenir une meilleure maniabilité.

La durée de malaxage est importante. Elle doit être suffisante pour assurer une bonne homogénéité du mélange. Le temps varie de 30 secondes à 3 minutes suivant le type de bétonnières et peut être estimé à l'aide des formules suivantes :

- $t/\text{sec.} = 90 \sqrt{D}$ pour bétonnières à axe horizontal,
- $t/\text{sec.} = 120 \sqrt{D}$ pour bétonnières à axe incliné [3].

La figure II-24 montre bien la relation qui existe entre la résistance à la compression simple et le temps de malaxage à maniabilité constante 6d'après Boussion et Brunet. Dans certains procédés, le mélange se fait en deux phases. La pâte de ciment est préparée d'abord dans un malaxeur à haute turbulence ce qui lui donne une grande homogénéité ensuite vient le reste du mélange à préparer.

Un malaxage correctement étudié permet d'obtenir un gain de résistances mécaniques (par exemple de l'ordre de 10%) [1].

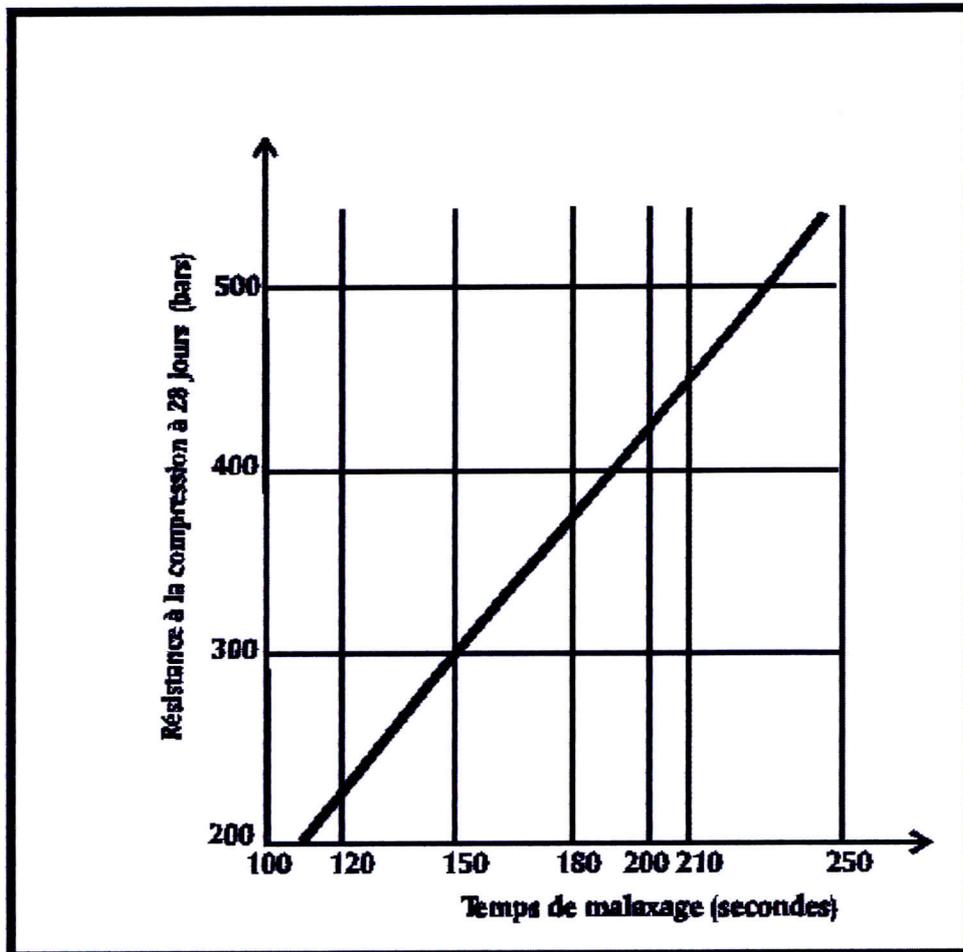


Figure II-24 : Relation entre la résistance à la compression simple à 28 jours et le temps de malaxage à maniabilité constante d'après Boussion et Brunet [1].

II-3-2-2 Le transport :

L'opération de transport du béton consiste à acheminer le béton du lieu de sa confection à l'endroit de sa mise en œuvre. Pour que l'objectif d'une telle opération soit atteint, il est nécessaire qu'elle s'effectue rapidement et que les caractéristiques du béton (principalement l'homogénéité et la maniabilité) ne soient pas modifiées.

Ces deux derniers paramètres doivent être rigoureusement contrôlés.

Pour que le béton conserve son homogénéité, il faut qu'il soit peu ségrégable que possible.

La ségréabilité du béton dépend :

- de la granularité retenue : les risques de ségrégation sont plus importants avec les mélanges à granularité discontinue ;
- de la taille du plus gros grain : D_{max} favorise la ségrégation ;
- de la plasticité du béton : la ségréabilité augmente avec la plasticité ;
- du rapport S/G (Sable/Gravier) ; elle augmente quand S/G diminue ;
- du module de finesse du sable ; la ségréabilité augmente avec ce dernier.

Actuellement, on peut remédier à la ségréabilité par des adjuvants qui permettent d'obtenir des bétons très fluides et pratiquement pas ségréables [18].

La maniabilité du béton frais est sensible à l'effet de différents facteurs propres au chantier :

- l'augmentation du temps de transport entre la centrale de fabrication et le chantier et des attentes sur chantier aggravent l'évaporation de l'eau de gâchage ;
- les conséquences des réactions chimiques déclenchées dès le premier contact du ciment avec l'eau risquent de se manifester avant la fin de la mise en œuvre ;

- l'élévation de la température ambiante est également un facteur aggravant l'évaporation et favorisant l'accroissement de la cinétique de prise du béton ;

Cette perte de maniabilité est évidemment variable suivant les types de béton [25].

Pour remédier à ce problème de perte de maniabilité du béton lorsqu'il arrive sur le chantier l'utilisateur est amené à rattraper cette perte de maniabilité par un ajout d'eau. L'ajout d'eau influe évidemment sur le rapport E/C lequel influe sur les qualités du béton.

Selon BURG [26] un excès de 8 à 10% de la quantité d'eau totale peut être ajouté sans aucune perte significative de la résistance.

CORNELLE [27], lui, indique qu'une variation de plus ou moins 5.55% de la quantité d'eau nominale suffit pour modifier sensiblement les caractéristiques rhéologiques du béton.

Pour un béton prêt à l'emploi, la durée de transport du béton au lieu de coulage, compté à partir de l'introduction de l'eau sur le ciment, ne doit pas dépasser 1h30mn, et seulement 1heure pour les camions munis d'un agitateur [13].

La figure II-25 montre l'effet du retrempering sur la résistance du béton.

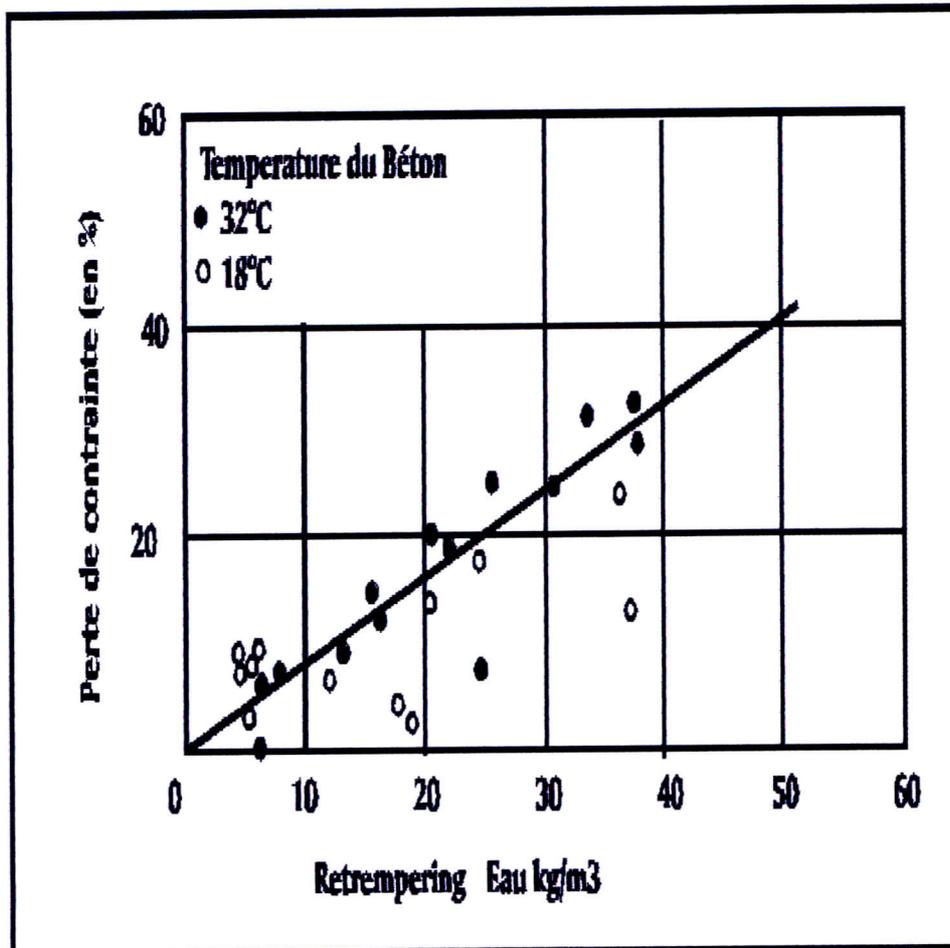


Figure II-25 : Effet du retrempering sur les résistances du béton [23].

II-3-2-3 La mise en place (coulage et vibration) :

La vibration est la dernière phase de toute la chaîne de fabrication qui peut remettre en cause à elle seule la qualité du béton de l'ouvrage. Une chute de béton d'une trop grande hauteur dans le coffrage sans précautions particulières peuvent compromettre tous les soins apportés à la composition ou au malaxage [14].

Il est à remarquer que la vibration agit rapidement et très efficacement dans les premiers instants et qu'au bout d'un certain temps l'amélioration de la compacité et par là de la résistance du béton tend vers un palier limite. Si la vibration excessive risque de provoquer de la ségrégation, le manque de vibration donne un béton mal serré, de mauvaise compacité donc de résistance moindre. En pratique on peut distinguer quatre catégories de vibrations :

- la **vibration interne**, où le dispositif vibrant (aiguille vibrante ou pervibrateur) est plongé dans la masse de béton frais à compacter ;
- la **vibration externe**, où le dispositif vibrant agit par les faces du volume de béton frais par l'intermédiaire des parois moulantes ; le moule peut être posé directement sur une table vibrante, ou les vibrateurs peuvent être bridés à l'extérieur du moule.
- la **vibration de surface**, où le dispositif vibrant n'agit qu'à partir de la surface du béton (dame, règle et truelle vibrantes) ;
- la **table à choc** : la vibration est externe, mais avec une fréquence faible et une accélération très forte et variable suivant l'élasticité des matériaux en contact [25].

La vibration interne doit être conduite de façon uniforme et avec un certain nombre de précautions :

- vibrer des couches d'épaisseur inférieure à 50 cm ;
- ne pas utiliser le pervibrateur pour déplacer le béton dans un plan horizontal ;
- plonger verticalement et rapidement l'aiguille en fond de couche en veillant à pénétrer légèrement (10 cm environ) dans la couche sous-jacente et la remonter lentement et à vitesse la plus constante possible ;

- ne pas vibrer une couche déjà vibrée ;
- éviter les contacts entre le pervibrateur et les armatures d'une part, et avec le coffrage d'autre part ;
- piquer le pervibrateur dans le béton à des distances variant entre 35 et 50 cm pour les aiguilles courantes (diamètres variant entre 55 à 75 mm) ;
- en fin de vibration d'une couche, sortir le pervibrateur en laissant la cavité se refermer ;
- ne pas vibrer à moins de 10 cm des coffrages ;
- ne pas incliner l'aiguille de plus de 45°;
- la sortie du pervibrateur doit se faire lentement (en 10 à 15 secondes) pour éviter la production de trous remplis de laitance.

La vibration externe est réservée pour les bétonnages où l'accès des vibrateurs internes s'avère très difficile et pour le coulage des pièces relativement minces et répétitives tels qu'en préfabrication. Les vibrateurs sont placés sur les parois externes du coffrage sur lesquelles on prévoit des fenêtres à différents niveaux pour suivre la progression du béton et intervenir si nécessaire par vibration interne. Ces vibrateurs sont constitués par des systèmes utilisant un mode de propulsion électrique, pneumatique ou hydraulique et sont caractérisés par leur fréquence et la force centrifuge développée.

Le tableau II-10 rassemble les modes de propulsion, les fréquences et les forces centrifuges développées pour différents vibrateurs.

Tableau II-10 : Caractéristiques des vibrateurs de coffrages externes [25].

Modes de propulsion	Fréquences tr/min	Force centrifuge KN
Electrique	1000 à 12 000	1.4 à 98
Pneumatique	3600 à 16 000	2.9 à 60
Hydraulique	6000	6 à 13

Le temps total de vibration, pour un volume de béton $V > 25$ L, est donné par la relation empirique suivante :

$$t_v = 2.5 \left[G + \frac{1}{A + 0.05} \right] \frac{V.F}{\phi} \quad (\text{en s}) \quad [25].$$

Avec : t_v (s) temps total de vibration,

V (m³) volume du béton,

A (m) affaissement au cône d'Abrams,

ϕ (m) diamètre de l'aiguille vibrante,

F coefficient de ferrailage défini dans le tableau II-11,

G coefficient d'angularité des granulats défini dans le tableau II-12.

Cette relation n'est applicable ni pour les bétons trop fluides (affaissement au cône d'Abrams > 18 cm) ni pour les bétons autonivelants qui, par principe, ne nécessitent pas de vibration [25].

Le tableau suivant donne les valeurs du coefficient F selon la densité du ferrailage.

Tableau II-11 : Valeurs du Coefficient de ferrailage [25].

Ferrailage	Coefficient de Ferrailage F
Très dense	1.50
Dense	1.35
Normal	1.20
Faible	1.10
Nul	1.00

Dans le tableau II-12 sont rassemblés les valeurs du coefficient d'angularité G.

Tableau II-12 : Valeurs du Coefficient d'angularité G [25].

Gravier	Sable	Coefficient d'angularité G
Roulé	Roulé	1
Semi-concassé	Roulé	2
Concassé	Roulé	3
Concassé	Semi-concassé	4
Concassé	Concassé	5

La figure II-26 permet d'évaluer approximativement le temps de vibration en fonction de la fréquence du vibreur utilisé.

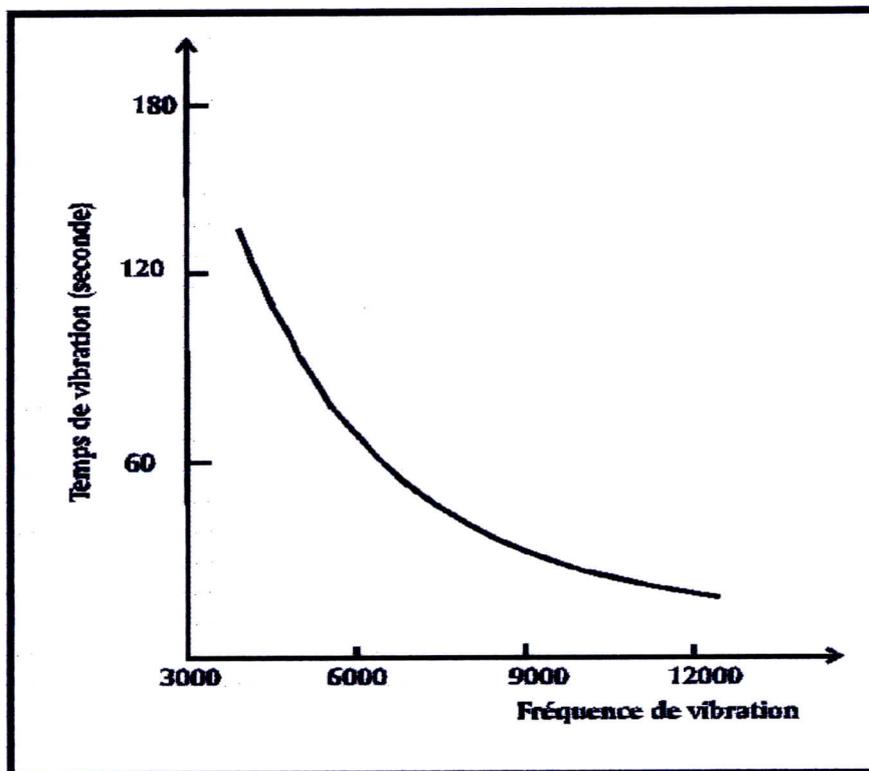


Figure II-26 : Exemple de relation entre le temps de vibration et la fréquence [1].

II-3-2-3-1 Influence du mode de serrage sur la résistance du béton :

La vibration provoque une diminution importante du frottement interne du béton et permet donc sa mise en place avec des teneurs plus faibles en eau de gâchage. La figure II-27 schématise l'influence du serrage du béton sur ses résistances mécaniques [1].

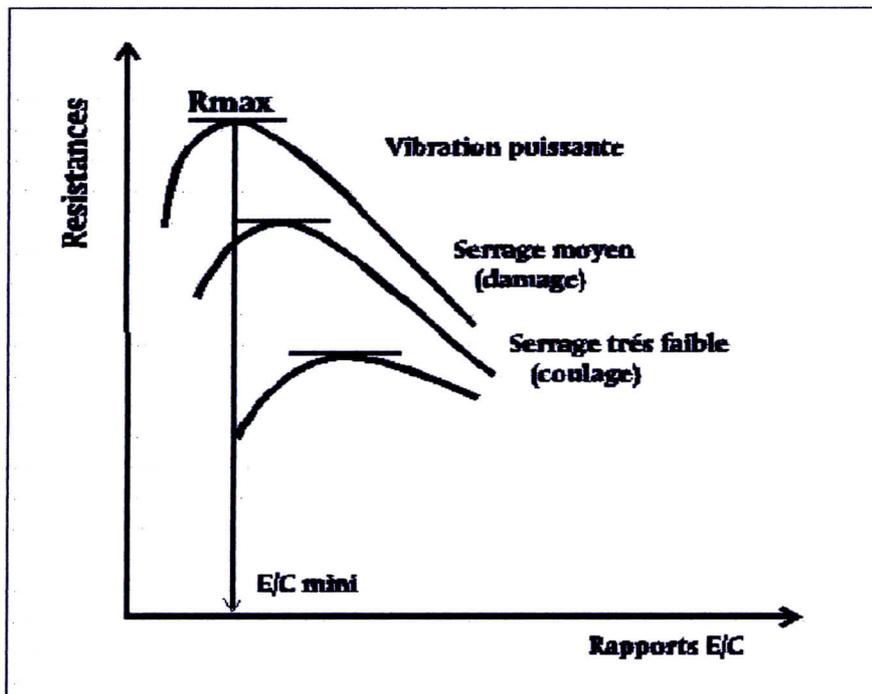


Figure II-27 : Influence du mode de serrage sur les résistances et en fonction des rapports eau/ciment [1].

II-3-2-3-2 Influence de la vibration sur l'ouvrabilité du béton :

La consistance du béton et sa teneur en eau doivent être choisies en fonction de l'énergie de mise en œuvre dont on dispose sur le chantier. La vibration qui réduit le frottement interne du béton et le fluidifie peut, si elle dure longtemps, provoquer la ségrégation. Cette ségrégation est d'autant plus importante que le béton est moins bien dosé en ciment ou contient une teneur en eau trop élevée [1].

Un exemple de quantité d'eau ressuée après 2 mn de vibration en fonction de la teneur en eau du béton et de son dosage en ciment est donné sur la figure II-28.

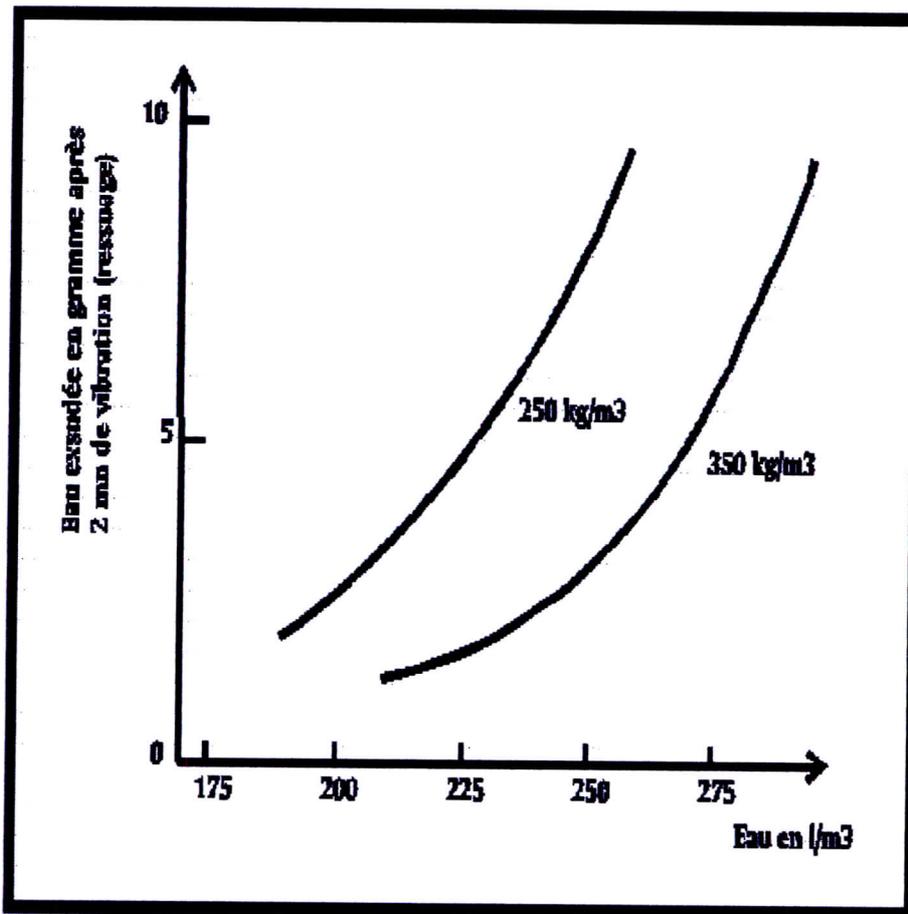


Figure II-28 : Exemple de ressuage sous vibration d'un béton en fonction de la teneur en eau et en ciment [1]

II-3-2-4 La revibration du béton :

Cette technique consiste à revibrer le béton dans un délai de 1/2 à 3 h. D'après les travaux de BASTIAN cité par [1] il ressort qu'une vibration répétée du béton au cours de sa prise provoque une augmentation de résistance à la compression et à la traction très importante aux jeunes âges du béton. A deux jours, cette augmentation atteint 40% pour la compression et 25% pour la traction.

La revibration conduit à un accroissement de la densité par réduction des vides formés lors du début de la cristallisation. Elle permet de refermer les microfissures, éventuellement formées lors d'un retrait avant prise.

Cette technique reste délicate et ne peut être envisagée que dans certains cas particuliers tels que le bétonnage par temps chaud, les travaux routiers, les pistes d'aérodrome et la préfabrication.

On peut dire ici que cette technique ne s'applique pas à des bétons raides. Par contre, elle est efficace pour des bétons de consistance semi-plastique [1].

L'ajout d'un adjuvant à la fois plastifiant et entraîneur d'air peut être extrêmement intéressant.

II-4 FACTEURS D'AMBIANCE ET DE CONSERVATION :

II-4-1 La cure du béton :

Il convient, en premier lieu, de souligner que la meilleure des cures est le maintien en place des coffrages. Cependant, pour des raisons économiques, le coffrage sera très généralement retiré dès que le béton aura atteint une résistance mécanique suffisante pour être autostable. Dès lors, un autre système doit assurer la relève pour empêcher l'eau de s'évaporer et c'est l'objet principal de la cure.

La cure a également pour objet d'assurer la protection du béton contre :

- le délavage par la pluie,
- le froid en hiver,
- les gradients thermiques internes, pour les éléments à fortes variations d'inertie géométrique.

Dans ces derniers cas, la cure doit consister non seulement à réaliser une barrière hydraulique, mais aussi thermique.

Il est par ailleurs évident que la cure des surfaces non coffrées doit débiter dès la fin du surfaçage, pour que le béton puisse atteindre de bonnes conditions de durabilité.

On évite ainsi, ou du moins on limite :

- l'apparition du retrait superficiel avec son cortège de faïençage et de fissures qui constituent un cheminement préférentiel pour la neutralisation du béton et donc la moins bonne protection des aciers ;
- l'hydratation incomplète du ciment ce qui conduit à une baisse des résistances.

Les éléments les plus perturbateurs, en dehors du risque de gel en hiver, sont les actions du soleil et du vent qui tous deux dessèchent la surface du béton. Pour se prémunir contre ces actions, on utilise généralement l'un des procédés suivants :

- emploi de films plastiques ou de bâches humides ;
- arrosage en pluie fine ;
- application d'un produit de cure.

Un facteur important de la cure est la durée du traitement [22].

II-4-1-1 Influence de la chaleur :

La figure II-29 montre l'influence de la chaleur sur les résistances entre 0 et 24 h. Cette influence est très importante au tout jeune âge ; en effet, les résistances des bétons à 50 et 70 °C augmentent très rapidement pendant les huit premières heures.

La réaction d'hydratation durant la prise et le durcissement du béton est favorisée par une élévation de température, mais la dessiccation, empêchant l'hydratation complète du ciment, est néfaste.

Il faut toutefois remarquer que les bétons dont le durcissement a été accéléré par la chaleur n'ont pas tout à fait la même structure que celle des bétons conservés à 20 °C. La porosité augmente (puisque l'air et l'eau contenus dans le béton frais se dilatent plus que le béton lui-même) et la cristallisation est légèrement différente. En conséquence, la résistance à long terme des bétons traités par la chaleur est souvent plus faible que celle des bétons non traités [6].

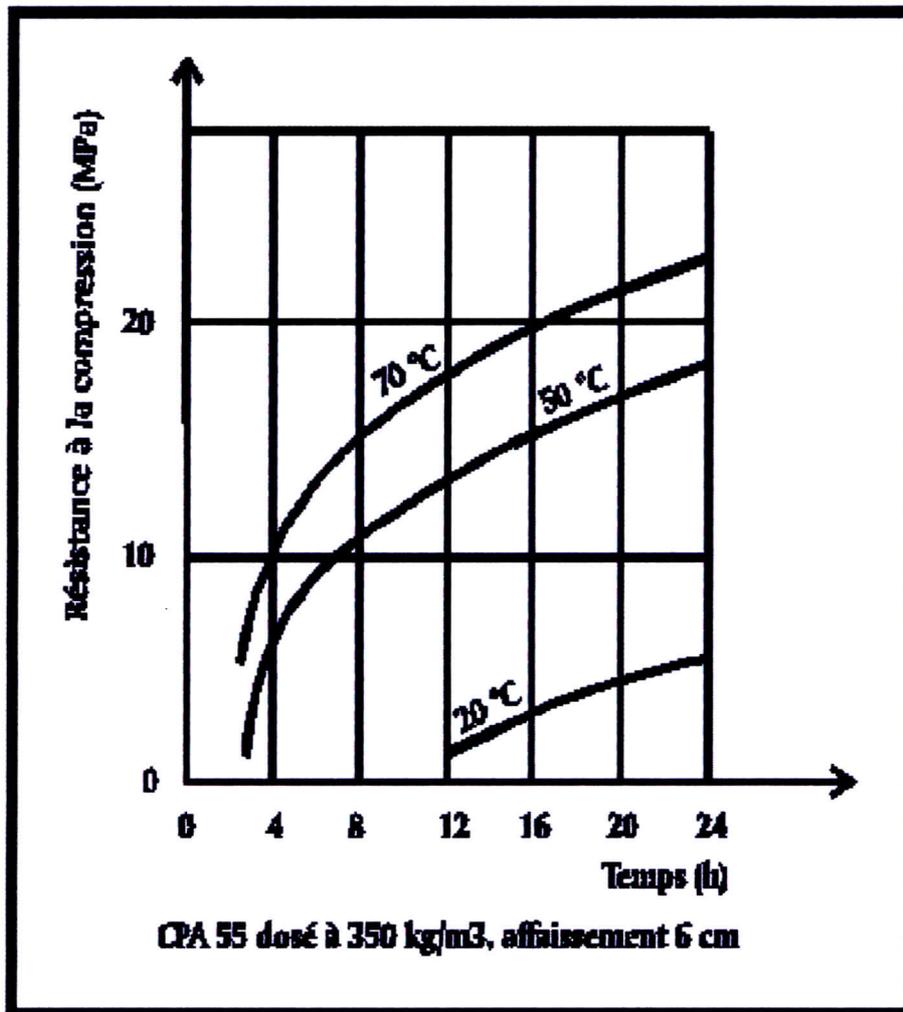


Figure II-29 : Influence de la chaleur sur l'évolution de la résistance à la compression du béton [6].

II-4-1-2 Influence des faibles températures :

A l'inverse de la chaleur, le froid ralentit la prise et le durcissement du béton. La figure II-30 montre l'influence de la température sur le durcissement du béton. L'évolution des résistances est donnée pour trois températures 10, 20 et 30 °C.

On remarque qu'à long terme les résistances en compression des bétons conservés à 10 °C et 20 °C sont du même ordre.

L'action du gel est très néfaste lorsqu'il intervient sur un béton dont le durcissement est insuffisant. En effet, à ce moment, le béton contient beaucoup d'eau et sa résistance est très faible. L'expansion de la glace perturbe alors la structure du béton. Pour que le béton résiste au gel, il faut donc qu'il subisse un temps de prédurcissement avant que la température ne descende au-dessous de 0 °C.

Ce temps de prédurcissement dépend de nombreux facteurs (température, quantité d'eau de gâchage, classe du ciment, etc.). En général, il faut que le béton atteigne un seuil de résistance critique de l'ordre de 5 MPa [6].

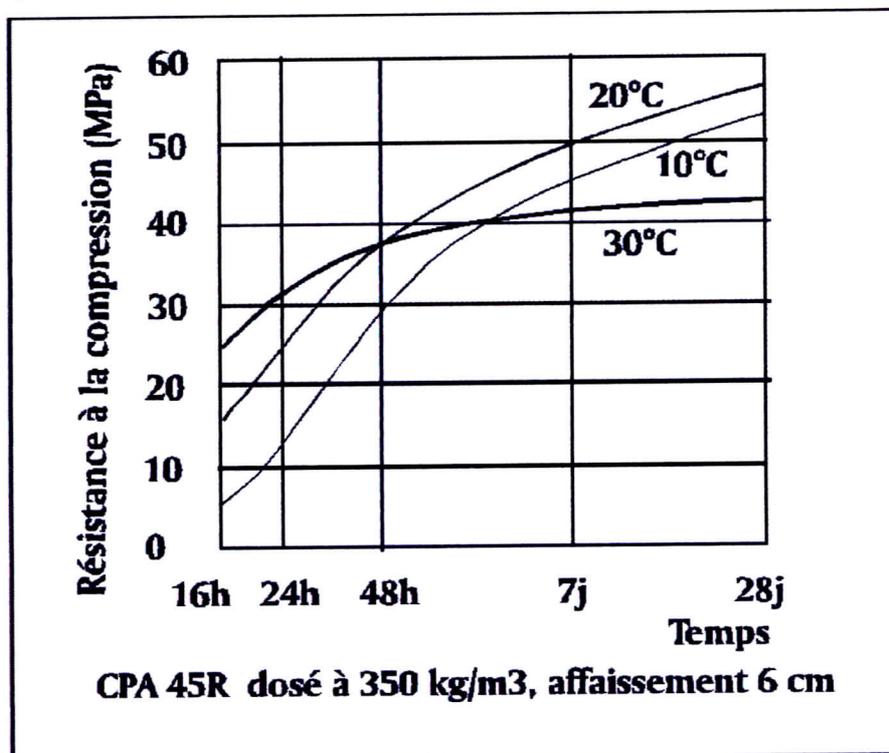


Figure II-30 : Influence des faibles températures sur l'évolution de la résistance à la compression du béton [6].

II-4-1-3 Influence de l'hygrométrie de conservation :

Comme l'hydratation du béton est une réaction lente, le béton a besoin d'une ambiance humide pour bien durcir. Le degré d'hygrométrie de l'air est donc un facteur important influant sur la résistance du béton. C'est surtout dans les premiers jours que le béton doit être protégé de la dessiccation.

Les pertes de résistances sont d'autant plus importantes que E/C est plus grand [6].

Le tableau II-13 donne un aperçu sur les pertes de résistance en fonction de la durée d'exposition au soleil sans protection.

Ces résultats rapportés au tableau II-13 ont été relevés sur un béton de E/C = 0.62.

Tableau II-13 : Influence de l'hygrométrie de conservation sur la résistance [6].

Durée d'exposition au soleil sans protection (jours)	Perte de résistance en Compression à 28 j
1 j	12 %
2 j	19 %
3 j	21 %
5 j	22 %
28 j	44 %

II-4-1-4 Influence des conditions de cure et du rapport E/C sur la résistance du béton :

Le mode et la durée de cure sont des paramètres les plus importants, ils influent directement sur les performances mécaniques du béton. La figure II-31 montre les développements des résistances mécaniques de bétons conservés dans deux conditions différentes.

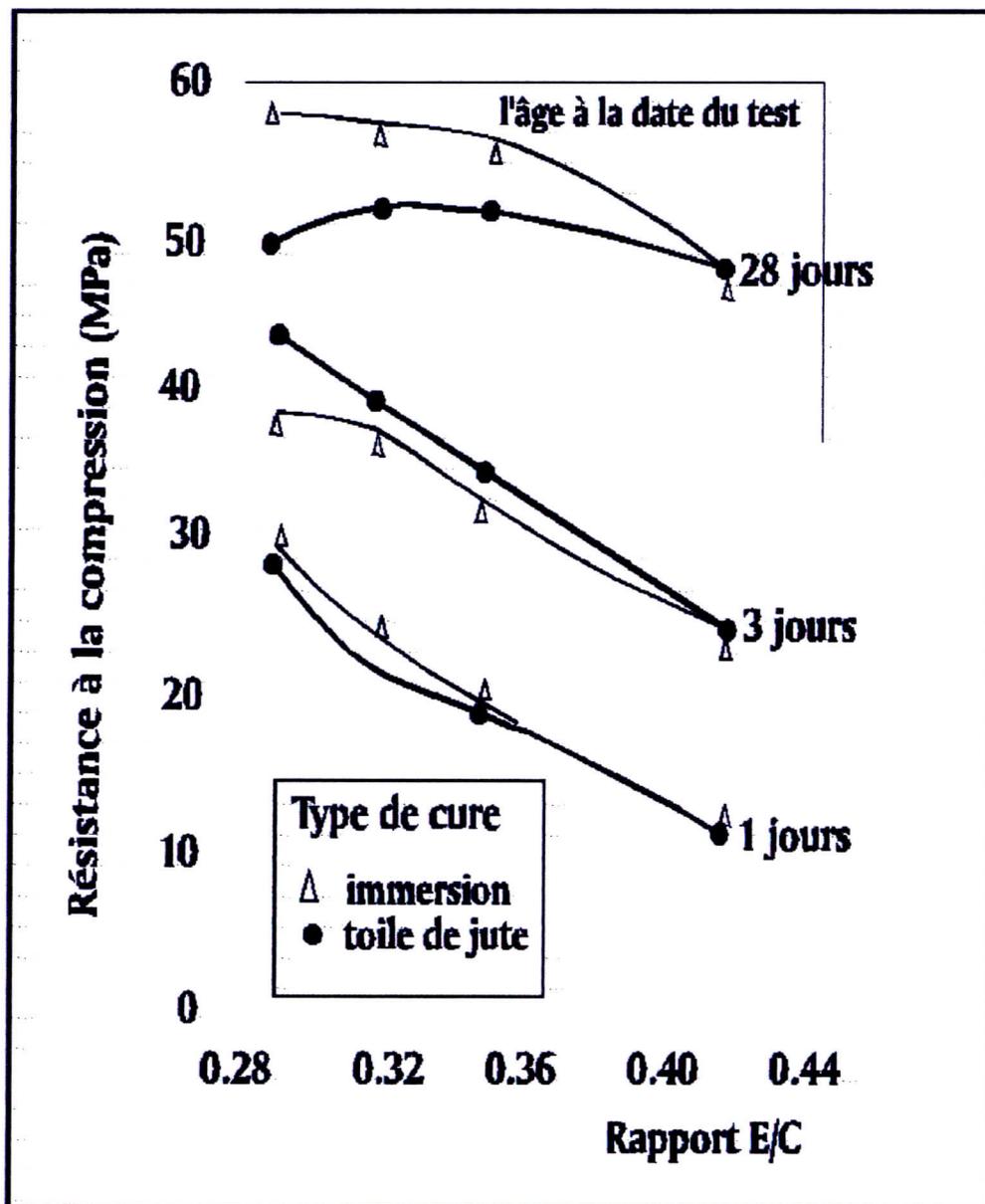


Figure II-31 : Influence des conditions de cure sur la résistance à la compression du béton [11].

II-4-1-5 Influence de la durée de cure humide sur la résistance du béton :

Le manque d'humidité (cure à l'air libre en zone méditerranéenne CNERIB-Alger) a permis de déduire, selon les travaux de L. LACHEMAT et S. KENAI [28], que la résistance à 28 jours peut être réduite de 44% par rapport à une cure d'humidification par immersion (20°C et 100% HR).

La réduction observée sur la résistance à 28 jours est de 19% en zone steppique ou semi-aride (35°C et 70% HR), de 40% en zone aride ou chaude (45°C et 35% HR) toujours par rapport à une cure à 20°C et 100% HR selon [28].

II-5 LE TRAITEMENT THERMIQUE DES BETONS :

Le traitement thermique des bétons est une technique courante qui permet d'atteindre plus rapidement une résistance suffisante pour le démoulage des éléments. Le durcissement est fonction à la fois du temps et de la température.

Le chauffage peut être effectué avant ou après la mise en place du béton dans le coffrage, ou encore en combinant les deux méthodes. L'accélération du durcissement du béton par la chaleur altère plus ou moins les qualités ultérieures du béton. Aussi en jouant sur certains paramètres, comme la température maximale, la vitesse d'élévation de la température, le départ d'eau, la préprise, il est possible d'éviter que le traitement thermique ne soit trop préjudiciable au béton. Cette baisse de résistance peut d'ailleurs être compensée par la fabrication d'un béton plus performant (ciment de classe supérieur, dosage en ciment supérieur, dosage en eau plus faible) [30].

Marc Mamilian écrivait en 1983 : «... le traitement thermique constitue le moyen le plus efficace pour obtenir la résistance nécessaire au démoulage en quelques heures... ». Cela n'est plus tout à fait exact, aujourd'hui. Le développement des bétons de hautes performances, avec l'usage des adjuvants et des ajouts minéraux (et notamment des fumées de silice, qui font maintenant partie de certains ciments) a montré qu'il était possible d'obtenir des résistances mécaniques très élevées à des âges inférieurs à 24 heures et cela pour un coût global qui est du même ordre [5].

Il faut ajouter à cela que tout traitement thermique conduit à une diminution des performances mécaniques à long terme, par contre les formulations de type hautes performances conduisent à leur augmentation et une amélioration de la plupart des caractéristiques qui contribuent à la durabilité du matériau.

Enfin, il faut ajouter que le couplage du traitement thermique du béton et la chaleur d'hydratation peut conduire à des élévations de températures largement supérieures à 80°C qui conduisent à une dégradation rapide de toutes les performances mécaniques du matériau [5].

II-5-1 Types de traitements thermiques :

D'un point de vue pratique plusieurs moyens de chauffage sont utilisables. Le chauffage peut être effectué avant ou après la mise en place du béton dans le coffrage ou encore en combinant ces deux procédés.

II-5-1-1 Traitement thermique passif ou auto-étuvage :

C'est la méthode la plus simple. Elle consiste à réduire les déperditions calorifiques en cours de prise, en utilisant des coffrages isolants, parfois simplement recouverts, sur leur face extérieure, d'un enduit ou encore en recouvrant l'ensemble de l'ouvrage avec une bâche isolante. Les bâches utilisées sur chantier, de même que les coffrages enduits avec 5 cm de mortier isolant, réduisent le coefficient d'échange thermique en surface d'un rapport supérieur à 100 par rapport au coffrage métallique nu. Cette méthode est souvent la plus économique (il n'y a pas fourniture de chaleur) et la plus sûre ; à la limite, en supprimant tout échange avec le milieu ambiant, on supprime tout gradient de température [5],[31].

II-5-1-2 Chauffage du béton avant sa mise en place (Préchauffage) :

Le préchauffage du béton peut être obtenu de trois façons différentes :

- soit en **chauffant les granulats** et/ou l'eau avant le malaxage, les granulats étant généralement chauffés par injection de vapeur en partie inférieure des tas de stockage ;
- soit en chauffant le mélange par **injection de vapeur dans le malaxeur** pendant la fabrication du béton ;
- soit, enfin, par un **chauffage** électrique du béton **dans une benne** après le malaxage, des électrodes permettant de faire passer le courant pendant quelques minutes à travers le béton frais, qui joue alors le rôle de résistance.

Cette dernière technique est utilisée en préfabrication. Elle a été initialement développée en ce qui était l'URSS, où elle a pu être observée et analysée par Jay et Caumette [32] qui l'on introduit en France au début des années 80, en montrant qu'elle pouvait être utilisée en bétonnage par temps froid et qu'elle pouvait être associée à l'utilisation de coffrages calorifugés, pour accélérer le durcissement du béton [5].

II-5-1-3 Chauffage du béton après sa mise en place :

Ce fut longtemps la technique la plus utilisée. On distingue deux principes :

- le chauffage interne, appliqué dans la masse du béton ;
- le chauffage externe, par les parois, méthode la plus fréquemment employée [5].

II-5-1-3-1 Le chauffage interne :

Les principaux procédés sont les suivants :

- le chauffage **par les armatures**. Il faut dans ce cas que le moule soit isolé électriquement pour éviter les pertes de courant ;
- le chauffage **par des résistances électriques** isolées, noyées dans le béton. La tension employée est très basse : 42 volts. Cette méthode est utilisée lorsque le nombre de pièces à construire est faible (< 100). Elle est peu économique puisque les résistances électriques sont perdues et le temps de mise en place est long.

II-5-1-3-2 Le chauffage externe :

Il est obtenu par chauffage du moule, soit directement, soit en chauffant l'air environnant la pièce en béton :

- le chauffage **direct du moule métallique** s'effectue par l'application, contre le coffrage, de résistances électriques ou de canalisations transportants un fluide (eau ou vapeur) ;
- le chauffage de l'air environnant le moule s'effectue en plaçant la ou les pièces **dans une enceinte d'étuvage** (ou en plaçant autour de l'ouvrage une tente ou des bâches) et en y envoyant de la vapeur ou de l'air chaud.

II-5-1-4 L'Autoclavage :

L'autoclavage est une méthode utilisée pour accélérer le durcissement des divers matériaux, en associant la chaleur et une pression élevée. La combinaison de ces deux facteurs donne naissance à des produits hydratés nouveaux, ayant des résistances élevées [30].

Pour presque la totalité des chercheurs la température optimale de traitement est de 175 °C à 180 °C et la pression est de 1 MPa (soit 10 fois la pression atmosphérique). Le principal avantage de la méthode est d'obtenir des résistances très élevées en quelques heures. Dans certains cas le dosage en ciment est diminué.

Cette méthode n'est pratiquement pas utilisée en dehors de la confection de petits éléments préfabriqués car elle exige des investissements importants (chambres de traitement hermétiques et capables de résister aux pressions).

II-5-2 Influence des conditions de traitement sur les qualités ultérieures du béton :

La résistance immédiate obtenue permet de sortir rapidement la pièce du moule et la manipuler, mais il faut voir si ce régime n'a pas trop altéré les qualités ultérieures du produit ainsi obtenu. C'est à dire, si à un âge d'au moins 28 jours, sa résistance mécanique et sa durabilité seront-elles suffisantes ?

L'expérience montre que la résistance à long terme est moins élevée quand le durcissement a été accéléré par la chaleur [30].

II-5-2-1 Influence de la température :

La figure II-32 montre l'influence de la température de traitement sur les résistances à long terme (jusqu'à 2 ans).

La courbe **A** est relative à un béton témoin conservé depuis la fin de mise en place dans une salle humide (20°C et 90 %H.R). La courbe **B** correspond au même béton traité durant 9 heures à 70° C avec vapeur, puis conservé en salle humide. Enfin, la courbe **C** correspond au même béton traité pendant 6 heures à 90° C avec vapeur, puis conservé en salle humide.

On remarque que l'écart entre le béton traité et le béton témoin croît avec le temps et que cet écart est d'autant plus grand que la température de traitement est élevée [30].

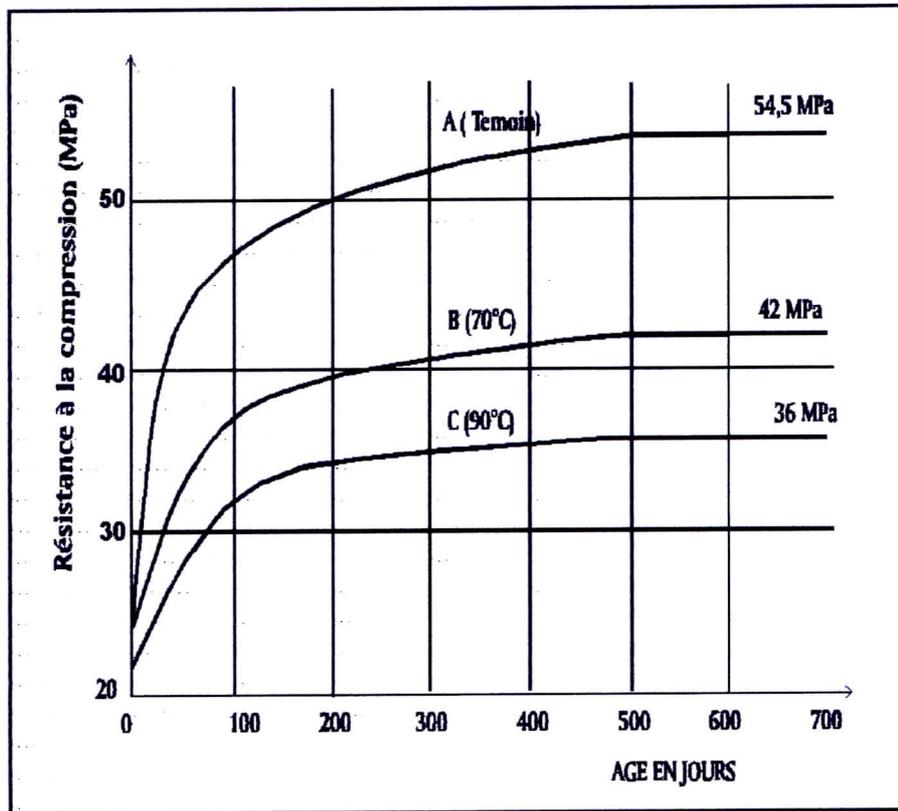


Figure II-32 : Influence de la température maximale sur les résistances en compression à long terme [31].

En effet la différence de résistance entre le béton traité à 70°C et le béton témoin est de 23 % au bout de 2 ans ; de même la différence entre le béton traité à 90°C et le béton témoin est de 34 % au bout de 2 ans [30].

II-5-2-2 Influence de la vitesse d'élévation de la température :

Sur la figure II-33 de la page suivante est rapporté l'influence de la vitesse d'élévation de la température pendant le traitement thermique sur les résistances en compression à long terme (jusqu'à 2 ans d'âge) du béton. On observe que les résistances les plus élevées sont obtenues pour les bétons chauffés lentement, le béton témoin est alors le plus résistant [30].

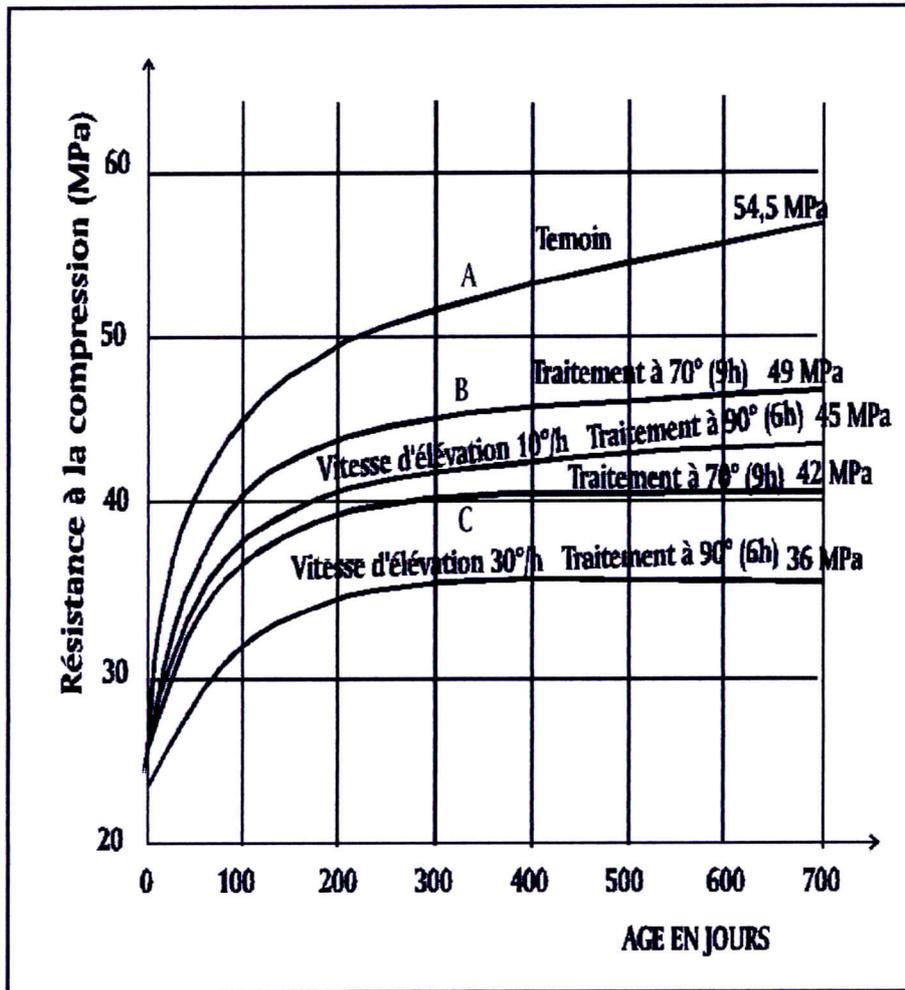


Figure II-33 : Influence de la vitesse d'élévation de la température sur la résistance d'un béton chauffé à 70 et à 90 °C (rapport E/C = 0.50).

La courbe A est relative à un béton témoin non traité. La courbe B correspond à un béton traité 9 heures à 70° C, avec une vitesse d'élévation de température de 10° C/heure, sans préprise. La courbe C correspond à un béton traité également 9 heures à 70° C, mais avec une vitesse d'élévation de température de 30° C/heure, toujours sans préprise. Le béton traité avec une vitesse d'élévation de température de 10° C/heure a une baisse de résistance de 10 % par rapport au témoin, tandis que le béton traité avec une vitesse d'élévation de température de 30° C/heure a une baisse de résistance de 23 % [30].

II-5-2-3 Influence de la vapeur :

La figure II-34 illustre les résultats d'une étude réalisée pour un traitement à 70° C pendant 5 heures. Dans une première série, les moules de béton étaient chauffés sans vapeur et dans une autre série, la vapeur saturante était envoyée dans l'étuve.

A 700 jours, la résistance obtenue avec la vapeur est de 23 % plus faible que celle du béton témoin, tandis que sans vapeur (air sec) la diminution est de 27%. On voit bien que dans ce cas de traitement en étuve, l'influence de la vapeur est faible et que l'avantage habituellement évoqué des traitements en ambiance humide n'est pas très visible.

La présence d'humidité pendant la première phase du traitement peut même dans certains cas être préjudiciable à la qualité du béton. Le professeur MIRONOF a montré que le traitement à la vapeur pouvait être néfaste à la résistance du béton, si la face supérieure n'est pas protégée. En effet, au début du traitement, comme le béton est plus froid que la vapeur, une condensation se produit en surface. Le béton absorbe l'eau, ce qui entraîne une diminution de sa compacité.

Il est recommandé que, quelque soit le mode de traitement, de couvrir le béton en protégeant la surface libre : dans ces conditions, le chauffage sans vapeur n'affecte pas plus la qualité à long terme du béton que le traitement dans une ambiance saturée d'humidité [30].

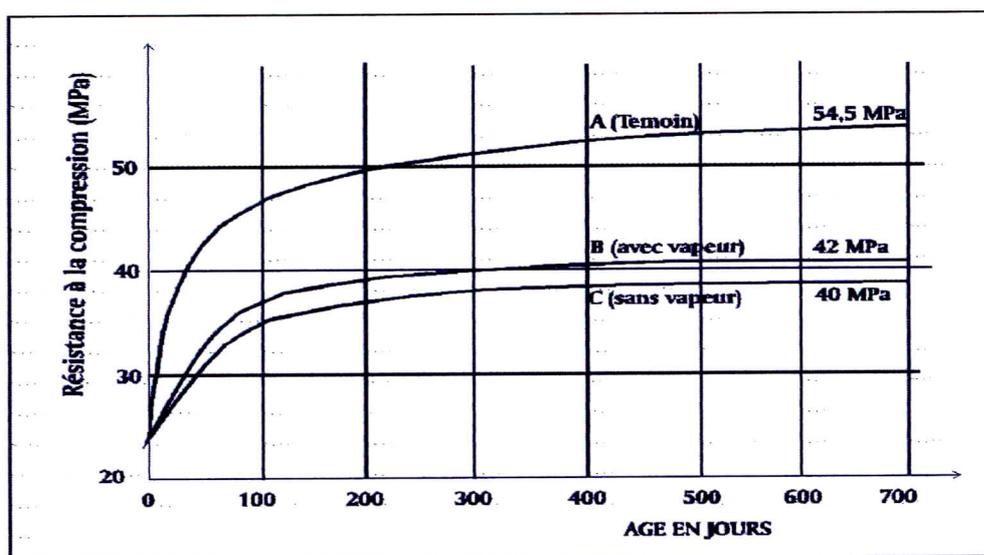


Figure II-34 : Influence de la vapeur sur les résistances à long terme [30].

La courbe A est relative à un béton témoin non traité. La courbe B correspond à un béton traité 9 heures à 70° C avec vapeur. La courbe C correspond à un béton subissant le même traitement mais sans vapeur. On peut constater que l'influence de la vapeur est négligeable.

II-5-2-4 Remarque :

Les pertes d'eau d'une pièce en béton se font surtout après le démoulage. En effet, à ce moment-là, l'élément n'est plus protégé et il est souvent chaud. Il est donc recommandé, pour éviter toute dessiccation, de laisser le béton se refroidir le plus longtemps possible dans le moule ou de le protéger par une bâche ou un produit de cure, et de le stocker ensuite à l'abri [30].

II-5-3 La préprise du béton :

Pour obtenir de bonnes résistances finales il n'est pas conseillé de chauffer immédiatement le béton, à cause de certains désordres physiques provoqués par des déformations volumiques importantes du fait de l'expansion de l'air et de l'eau.

Dans le cas d'un béton chaud et un temps de préprise nul, on peut observer (par rapport à un témoin conservé à 20 °C) des baisses de résistances à vingt-huit jours atteignant 30 à 40%.

Il faudrait alors que le temps de près prise soit d'autant plus long que la vitesse de chauffe est plus rapide et que la température de traitement est plus élevée [1].

II-5-4 La prévision des résistances :

Pour pouvoir démouler sans danger les pièces après traitement thermique, il est nécessaire que le béton ait atteint une résistance minimale. On se fixe en général une résistance comprise entre 5 et 10 MPa. Des tests préalables, (essais non destructifs au scléromètre ou par vitesse du son ou encore essais d'éprouvettes de contrôle subissant le même cycle de chauffage), permettent de s'assurer que ces résistances sont atteintes [1].

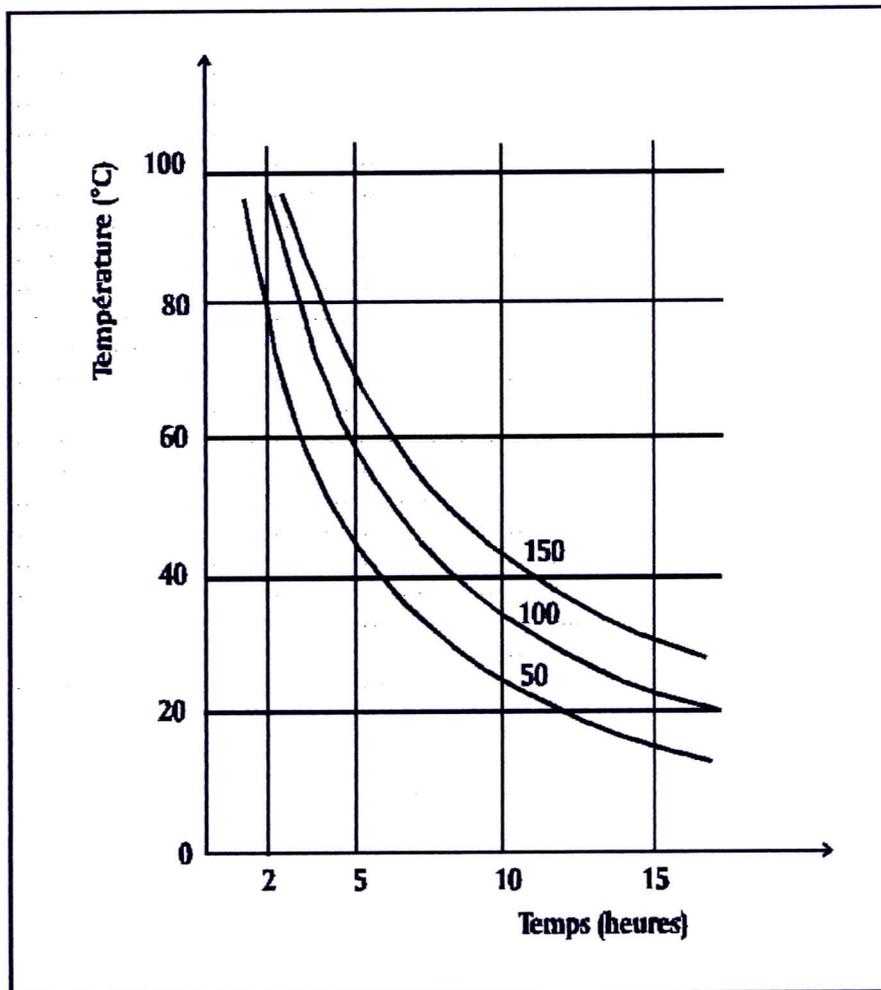


Figure II-35 : Exemple de courbes pouvant être construites à partir des données expérimentales et permettant l'évaluation du temps et de la température pour obtenir une résistance donnée au démoulage [1].

II-5-5 Quelques travaux sur le traitement thermique :

II-5-5-1 Travaux de J. ALEXANDERSON :

ALEXANDERSON [33] a étudié les causes des pertes de résistance à 28 jours dans le traitement par la chaleur. Il a montré que les pertes sont principalement dues à l'augmentation de la porosité et à la fissuration, ce sont des causes physiques. Il a établi que c'est la pression de l'air dans les pores qui provoque ces dégradations. Pour lui, les autres causes, appelées chimiques, auraient des répercussions plus faibles [30].

II-5-5-2 Travaux de M. MAMILLAN :

MAMILLAN [34] a aussi expliqué les altérations du béton traité par la chaleur, par l'expansion très importante des constituants du béton frais : l'air et l'eau. En effet, en chauffant très vite, on observe un gonflement important du béton.

La préprise est alors un moyen très efficace pour empêcher cette altération. Elle permet à l'hydratation de débiter, et ainsi de diminuer la dilatation du béton frais. MAMILLAN a trouvé que le coefficient de dilatation du béton frais (avec seulement 30 minutes de préprise) était de $30 \mu\text{m}/\text{m}/^\circ\text{C}$, par contre avec une préprise de 4 heures, le coefficient de dilatation est réduit à $11.5 \mu\text{m}/\text{m}/^\circ\text{C}$, valeur voisine de celle du béton durci. Ce coefficient de dilatation a été mesuré sur éprouvettes 7X7X28 cm.

A noter que la dilatation d'un béton qui a subi une préprise de 4 heures est presque entièrement réversible ; ce n'est pas le cas de la dilatation du béton traité sans préprise suffisante [30].

II-5-5-3 Travaux de B. COURTAULT :

COURTAULT [35] a montré que les produits d'hydratation de l'aluminate tricalcique et de l'alumino-ferrite tétracalcique peuvent être différents suivant la température.

Pour les silicates de calcium, les réactions d'hydratation sont sensiblement les mêmes jusqu'à 50° C, mais au-dessus de cette température, des modifications peuvent influencer les résistances mécaniques. On peut attribuer ce dernier phénomène à la morphologie des hydrates formés [30].

II-5-5-4 Travaux de M. BOUKENDAKDJI et F. AIT-SAAFI :

Cette étude [36] confirme les résultats des précédents travaux puisqu'elle montre que :

- un cycle de traitement avec préprise donne des résultats meilleurs qu'un de traitement sans préprise ;
- plus la durée de maintien du béton en température est plus importante, plus la chute de résistance par rapport au béton témoin, (20° C dans l'eau), à 28 jours est faible à court et à long terme ;
- moins la vitesse d'élévation de la température est grande plus les résistances du béton sont meilleures mais restent toujours plus faibles à long terme par rapport au béton témoin.

Il a été montré dans cette étude que le meilleur résultat était obtenu pour le béton traité selon le cycle suivant :

- une préprise de 3 heures à 20° C ;
- une montée de 2 heures de 20° C à 70° C ;
- un palier de 3 heures à 70° C.

II-5-6 Conclusion :

L'étuvage est une méthode intéressante du durcissement accéléré du béton. Elle permet des démoulages très rapides, mais avec un certain nombre de conditions parmi lesquelles :

- un cycle bien adapté ;
- un ciment bien choisi, compatible avec le cycle choisi ;
- un rapport eau/ciment assez faible (mais permettant cependant une bonne mise en place) ;
- une protection suffisante contre la dessiccation.

Il faut signaler qu'il n'existe pas de traitement thermique idéal adaptable à tous les cas. Les modalités de traitement thermique diffèrent en fonction de l'objectif à atteindre.

Nous pouvons dire que tout béton dont le durcissement a été accéléré par la chaleur présente des résistances à long terme plus faibles que celles d'un béton ayant durci normalement. Il convient donc dans la plupart des cas de trouver un compromis entre le point de vue économique et le point de vue technique, c'est-à-dire, entre l'accroissement rapide des résistances et l'obtention des performances recherchées à long terme. Toutefois, il est possible que la réduction de la résistance finale soit compensée par l'utilisation d'un ciment de classe supérieure et ou une compacité plus élevée.

II-6 BETONNAGE PAR TEMPS FROID :

On a vu que la chaleur diminuait le temps de prise et accélérât le durcissement du béton. Le froid a un effet inverse, il augmente la durée de prise et ralentit le durcissement du matériau considéré. La figure II-36 montre bien l'influence de la température sur le temps de prise. Sur la figure II-37 sont reportées les évolutions de résistances en compression pour deux bétons fabriqués avec des ciments différents et conservés à 5 °C et 20 °C. Certains ciments spéciaux tels que les ciments alumineux et les ciments prompts sont moins sensibles au froid) [30].

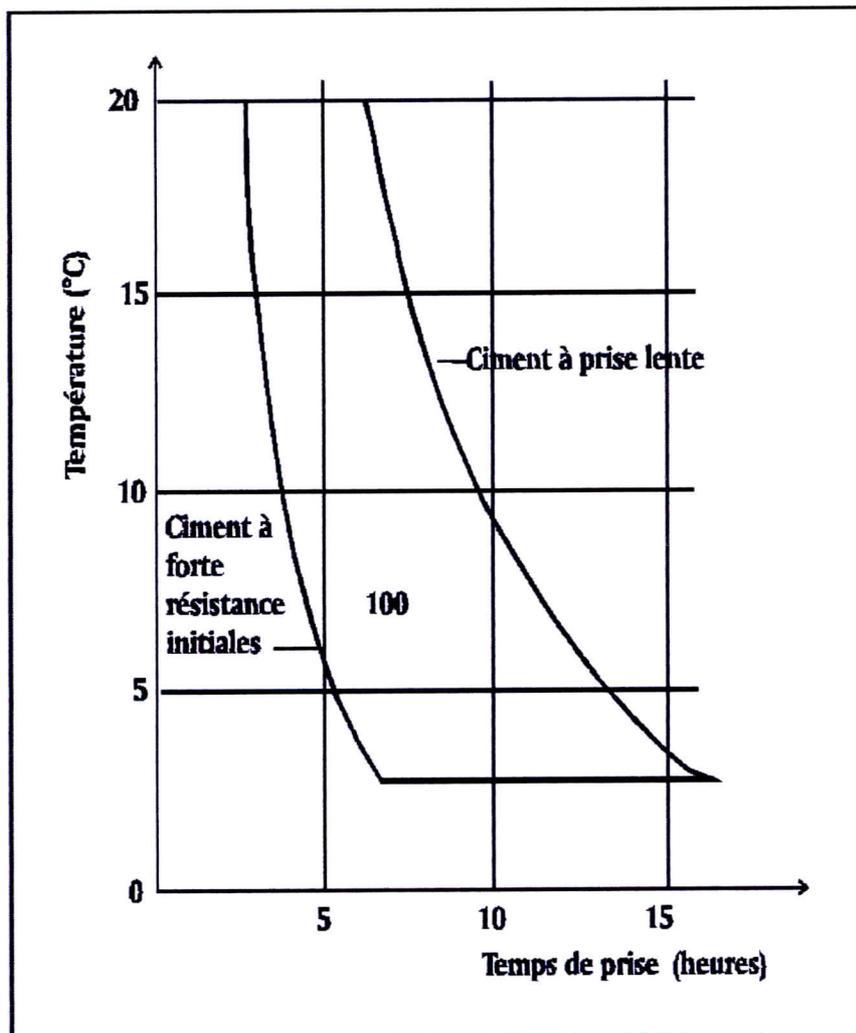


Figure II-36 : Influence des faibles températures sur le temps de prise [30].

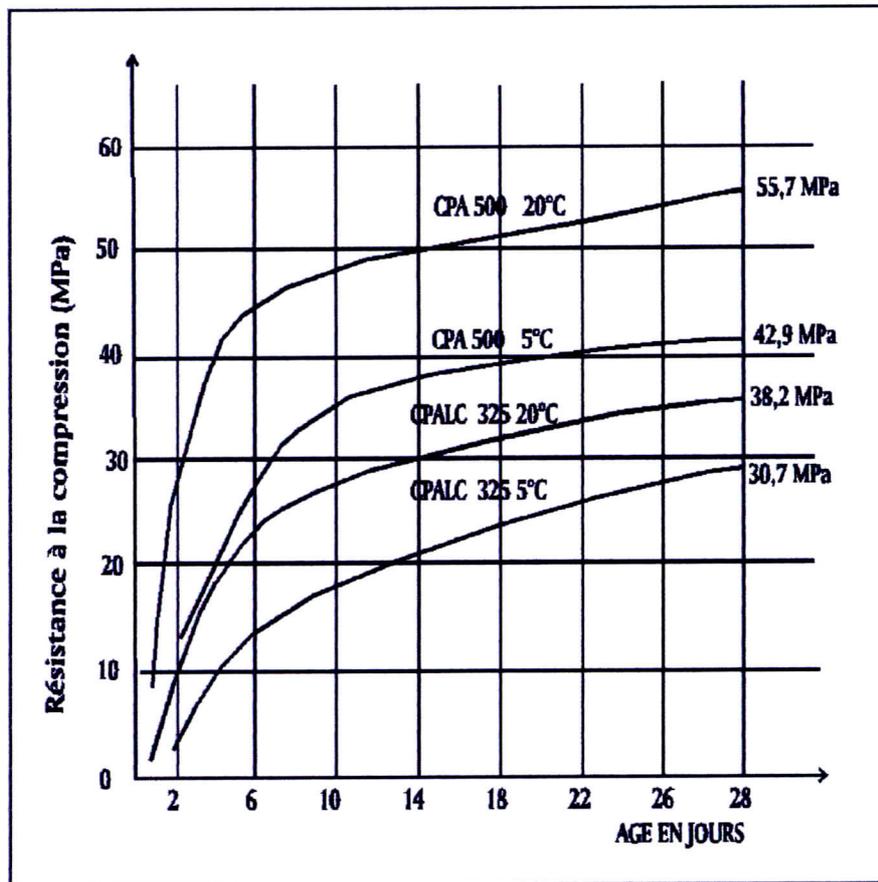


Figure II-37 : Evolution des résistances en compression à 5° et 20 °C [30].

II-6-1 Effet du temps froid sur le béton :

Il est bien connu que lorsque la température ambiante descend en-dessous de 0 °C, elle provoque le gel du béton. Lorsque le gel intervient sur un béton avant son début de prise, son action n'est pas très dangereuse. Il provoque un gonflement, dû à l'augmentation de volume de l'eau qui se transforme en glace. Après le gel, le durcissement reprend normalement dès que la température dépasse + 5°. Il suffit de revibrer le béton pour qu'il reprenne son volume initial.

L'action du gel est surtout néfaste lorsqu'il se produit au début du durcissement. Dans ce cas, la résistance du béton n'est pas suffisante pour résister à l'expansion de la glace. La porosité du béton augmente et l'adhérence entre les granulats et la pâte diminue. Il s'ensuit des chutes de résistances importantes, qui peuvent atteindre 40% [30].

II-6-2 Prédurcissement du béton :

Pour que le béton résiste au gel, il faut qu'il subisse un temps de prédurcissement avant que la température ne descende en-dessous de 0 °C. Ce temps de prédurcissement peut se déterminer expérimentalement en mesurant les déformations d'éprouvettes de béton pendant le gel [38]. Ce temps dépend de nombreux facteurs, en particulier de la température, de la quantité d'eau, de la classe du ciment. L'ACI 305-72 (Américan Concrete Institute) donne une valeur de la résistance en compression (3.5 MPa) au-dessus de laquelle le béton ne risque plus de se dégrader par le gel [30].

II-6-3 Durée d'attente avant décoffrage :

Les forts gradients thermiques responsables de la fissuration risquent surtout de se produire dès que le béton ne sera plus protégé par le coffrage ; pour cette raison, il est souhaitable que le béton ait acquis une résistance minimale à la compression d'au moins 5 MPa avant d'être soumis à un premier gel. En cas de gelées fortes ou modérées, il semble préférable de prévoir un calorifugeage des coffrages et de corriger les durées de maintien sous coffrages par les coefficients donnés dans le tableau qui suit :

Tableau II-14 : Coefficient de correction pour le maintien sous coffrages par basses températures [25].

Température journalière Moyenne.....(°C)	-10	-5	0	5	10	15	20
Coefficient de correction (par rapport à 20 °C) ...	(1)	6.7	3.3	2.2	1.7	1.3	1

(1) Tant que la température reste inférieure ou égale à - 10 °C, maintenir le Béton sous coffrage calorifugé, puis appliquer les corrections dès que la température s'élève.
Exemple : un besoin de 8 jours de coffrage à 20 °C deviendra 8X6.7 soit 53 jours à -5 °C.

II-6-4 Précautions particulières de bétonnage par temps froid :

D'après VENUAT [37] pour continuer à bétonner par temps froid, il faut prendre certaines précautions. Ces précautions porteront, dans la plupart des cas sur les éléments suivants :

- On peut préchauffer le béton lui-même et calorifuger les coffrages ;
- Il est conseillé d'employer des ciments à hautes résistances initiales et à forte chaleur d'hydratation, tels que les CPA 45 R, les CPA 55 R, et les CPA THR, avec un dosage un peu plus élevé que d'habitude ;
- Le dosage de l'eau doit être le plus faible possible, mais compatible avec les moyens de mise en œuvre ;
- On peut utiliser séparément ou en combinaison les adjuvants suivants :
 - **Les plastifiants réducteurs d'eau** : Ils permettent de diminuer le dosage en eau d'un béton de 5 à 20 %, tout en gardant la même maniabilité. Cela permet de diminuer le temps de prédurcissement.

• **Les accélérateurs de prise et de durcissement** : Le produit le plus efficace est le chlorure de calcium, mais son usage est réglementé à cause de son pouvoir corrosif. Ces adjuvants permettent une hydratation et un dégagement de chaleur plus rapide. Ils sont quelquefois, appelés « pare-gels » ou « antigelifs ».

• **Les entraîneurs d'air** : Ils sont surtout destinés à protéger le béton durci du gel, d'où leur nom d'antigelifs, mais ils facilitent la mise en place des bétons, en diminuant l'eau de gâchage [30].



Les effets du bétonnage par temps froid, et les précautions particulières à prendre sont rassemblées au tableau II-15.

Tableau II-15 : Précautions pour bétonner par temps froid [25].

Température	Effet	Précautions
$0 < \theta < 5 \text{ } ^\circ\text{C}$	Retard de prise Durcissement ralenti	Ciment CEM I, CPA 52.5 ou 52.5 R Dosage minimal en ciment > 350 Kg/m ³ de béton E/C < 0.50 Emploi de béton chaud Possibilité d'emploi d'accélérateurs de prise Protéger les surfaces non coffrées.
$-5 < \theta < 0 \text{ } ^\circ\text{C}$	Prise arrêtée Durcissement Arrêté	Dégel des granulats et des coffrages Traitement thermique actif du béton Utilisation d'eau chaude à la fabrication Utilisation de granulats chauds Fabrication de béton chaud Ciment CEM I, CPA 52.5 OU 52.5 R Dosage minimal en ciment > 400 Kg/m ³ de béton E/C < 0.45 Emploi d'accélérateur de prise avec entraîneur d'air Coffrages calorifugés.
$-10 < \theta < -5 \text{ } ^\circ\text{C}$	Forte gelée	Dégel des granulats et des coffrages Utilisation d'eau très chaude à la fabrication (> 50 °C) Traitement thermique actif du béton Utilisation de granulats chauds Fabrication de béton chaud Ciment CEM I, CPA 52.5 ou 52.5 R Dosage minimal en ciment > 400 Kg/m ³ de béton E/C < 0.45 Emploi de réducteur d'eau Emploi d'accélérateurs de prise avec entraîneur d'air Coffrages calorifugés Forte protection thermique des surfaces non coffrées.
$-15 < \theta < -10 \text{ } ^\circ\text{C}$	Froid intense	Précautions ci-dessus Arrêt de bétonnage sauf pour les ouvrages massifs.

II-7 LE BETONNAGE PAR TEMPS CHAUD :

Le bétonnage par temps chaud pose un certain nombre de problèmes. En effet, on constate que les résistances initiales augmentent avec l'accroissement de la température ambiante mais les résistances finales évoluent inversement.

La figure II-38 illustre un exemple sur lequel on peut constater que les résistances en compression à 1 jour passent du simple au double quand la température passe de 20 à 50 °C. Inversement, pour les mêmes températures, les résistances en compression à 28 jours diminuent de 26% [30].

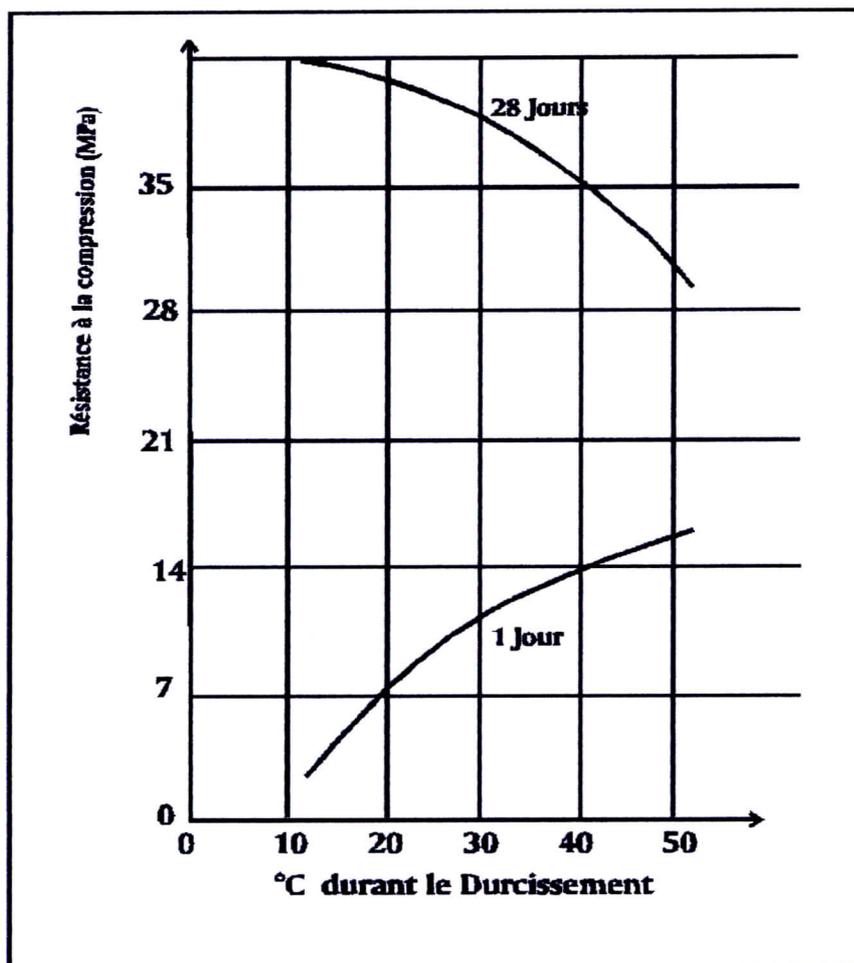


Figure II-38 : Effet des températures élevées sur les résistances en compression à 1 et à 28 jours [30].

La figure II-39 donne le pourcentage d'eau qu'il faut ajouter pour conserver un affaissement au cône constant lorsque la température varie.

La chute de résistance à long terme peut être due à l'augmentation importante de l'évaporation de l'eau, si le béton n'est pas protégé.

Cette évaporation dépend de plusieurs paramètres : température ambiante, humidité de l'air, vitesse du vent et forme de l'ouvrage. A titre d'exemple la résistance à 28 jours d'un béton protégé contre l'évaporation pendant les 7 premiers jours est de 30 MPa. Par contre elle n'est que de 15 MPa si la protection ne dure qu'un jour ; soit une résistance 50 % plus faible [30].

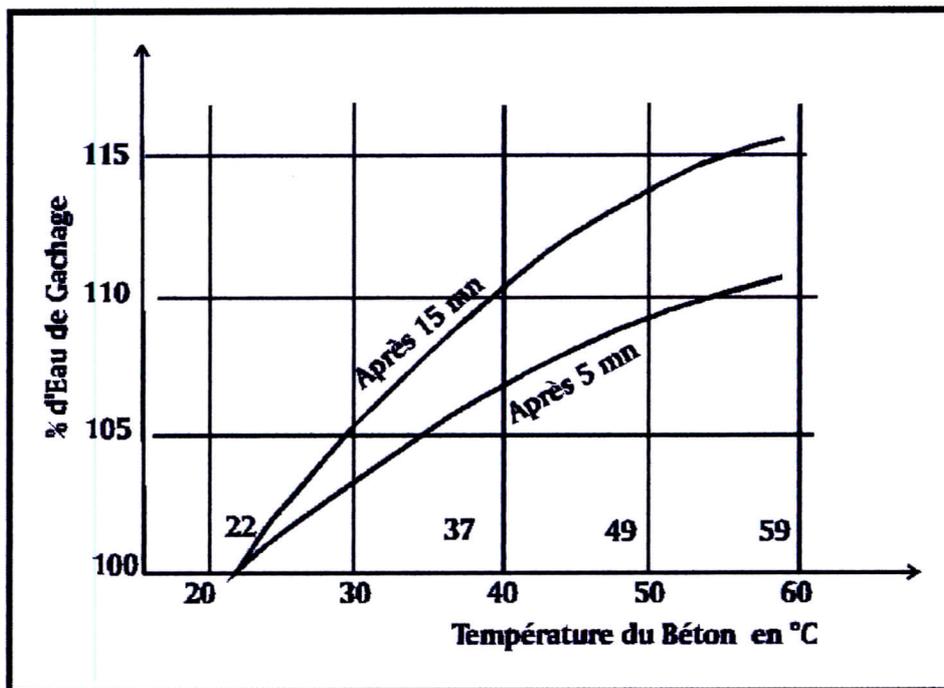


Figure II-39 : Augmentation du dosage en eau en fonction de la température [30].

Ce graphique donne le pourcentage d'eau qu'il faut ajouter au moment du gâchage pour conserver la même plasticité du béton (affaissement au cône de 6 cm) après 5 et 15 minutes d'attente, en fonction de la température. Ainsi, on remarque que pour garder la même consistance plastique à 37 °C qu'à 22 °C, après 15 minutes, il faut 9 % d'eau en plus. Ce béton avait un dosage en ciment de 350 kg/m³ [30].

II-7-1 Effet du climat chaud sur l'ouvrabilité :

Pour maintenir le béton à une ouvrabilité désirée lorsque la température augmente il est nécessaire d'augmenter la quantité d'eau de gâchage.

L'effet de la température sur l'ouvrabilité du béton est donné au tableau II-16. On constate qu'un affaissement au cône d'Abrams de 8 cm à 20 °C, n'est plus que de 5 cm à 35 °C. On passe donc d'un béton plastique à un béton plus ferme ce qui nécessite une énergie de vibration plus grande pour une même densité en place. La conservation de la même ouvrabilité (le même slump), exige une quantité d'eau supplémentaire de 10 l/m³. C'est ce que montre le tableau II-16 et la figure II-40. La conséquence de l'ajout d'eau est une baisse de résistance de l'ordre de 7 à 8 % [1].

Tableau II-16 : Effet de la température sur l'ouvrabilité du béton [1].

Température (°C)	Même E/C				Même ouvrabilité				
	Slump (cm)	E (kg/ m ³)	C (kg/ m ³)	E/C	Slump (cm)	E (kg/ m ³)	C (kg/ m ³)	E/C	Résistance en Compression à 28 jours (MPa)
20	8	165	330	0.50	8	165	330	0.50	48.0
35	5	165	330	0.50	8	175	330	0.53	44.5

La figure II-40 donne alors la quantité d'eau de gâchage d'un béton, moyen en fonction de la température (à plasticité égale).

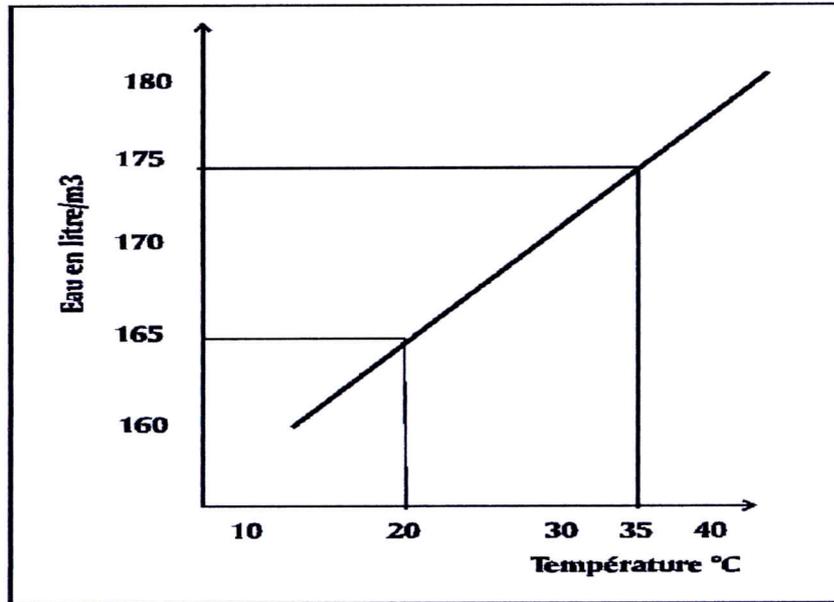


Figure II-40 : Exemple de la quantité d'eau de gâchage d'un béton moyen en fonction de la température à plasticité égale [1].

Le tableau II-17 montre aussi la perte d'ouvrabilité d'un béton en fonction de la température.

Tableau II-17 : Changement de l'ouvrabilité en fonction de la température [39].

Températures	15 °C	25 °C	35 °C	45 °C
Affaissement (cm)	11	8	5	2

II-7-2 Influence simultanée de la température et de l'humidité sur l'ouvrabilité du béton :

Des résultats reproduits sur la figure II-41, on remarque que l'ouvrabilité dans un milieu chaud et à humidité moyenne, (environ 30 °C et 75 %HR), est plus faible que dans un milieu chaud et très humide (environ 35 °C et 90 %HR).

Cette perte d'ouvrabilité est très sensible durant les premières heures et varie selon le dosage en eau de gâchage.

L'ouvrabilité continue de chuter selon les mêmes rapports pour les trois cas examinés sur la figure II-44. Ceci confirme la forte influence de l'humidité relative de l'air sur l'ouvrabilité qui diminue dans les zones sèches plus que dans les zones chaudes et humides. Ce phénomène a été largement constaté par [39].

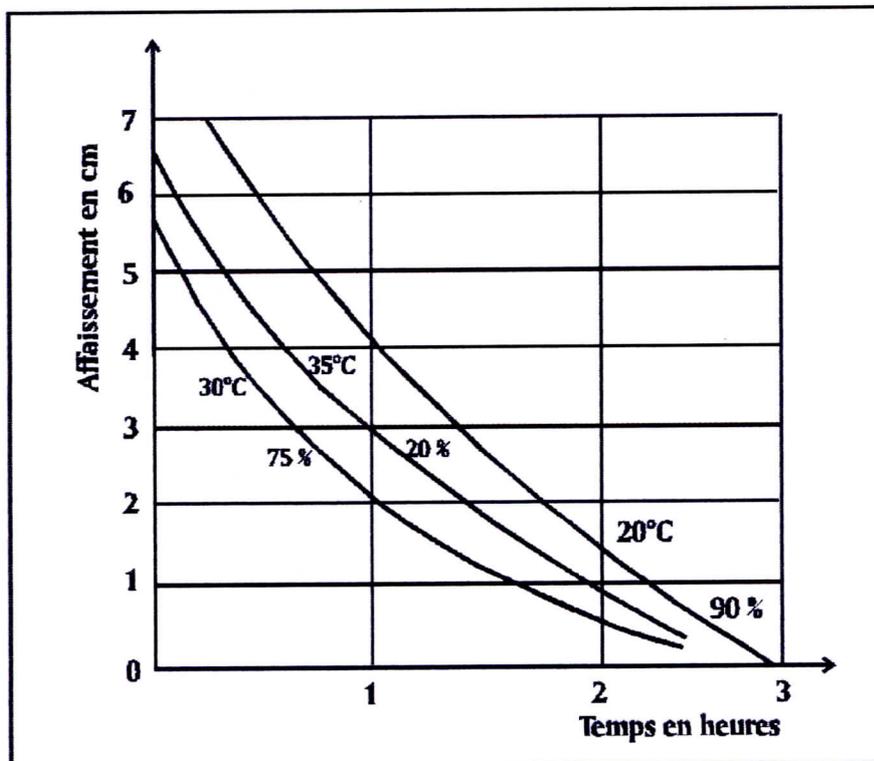


Figure II-41 : Influence de l'humidité relative de l'air sur l'ouvrabilité du béton [39].

II-7-3 Recommandations pour bétonner par temps chaud :

Le bétonnage par temps chaud est une question qui a fait l'objet de plusieurs études et recherches. Le tableau II-18 englobe les recommandations essentielles pour bétonner par temps chaud.

Tableau II-18 : Recommandations pour bétonner par temps chaud [25].

Prise en compte du climat	<p>S'enquérir des caractéristiques climatiques et de leurs variations habituelles dans le cas de chantiers de longue durée (> 6 mois).</p> <p>A défaut de pouvoir utiliser l'évaporation potentielle comme indicateur climatique, limiter la température du béton frais à 30 °C.</p>
Granulats	<p>Augmenter la fréquence des mesures de teneurs en eau des gravillons.</p> <p>N'utiliser, si possible, que des granulats (sables et gravillons) saturés en eau (teneur en eau totale \geq absorption capillaire)</p> <p>S'il est impossible de conserver la saturation des granulats sur stocks, augmenter à la fabrication la teneur en eau totale du béton d'une quantité d'eau égale à celle juste nécessaire pour saturer les granulats</p> <p>Prendre en compte la température des granulats (cette dernière variant rapidement lorsque les granulats sont secs).</p>
Ciments	<p>Utiliser des ciment à faible chaleur d'hydratation</p> <p>Ne pas utiliser de ciments riches en aluminat tricalcique (C3A)</p> <p>Prendre en compte la température du ciment au moment du dosage.</p>
Eau de gâchage	<p>Utiliser de l'eau froide et prendre en compte sa température</p> <p>Dans les cas extrêmes, remplacer partiellement l'eau de gâchage par des paillettes de glace (uniquement)</p> <p>Ne pas augmenter le dosage en eau pour rétablir la consistance voulue.</p>
Fabrication et mise En œuvre	<p>Limiter la température des matériels en peignant en blanc les silos, les trémies, les canalisations et le malaxeur d'une part, les matériels de transport et les parois extérieures des coffrages d'autre part</p> <p>Placer le malaxeur à l'ombre</p> <p>En cas d'impossibilité, recourir à des revêtements en toile de jute maintenus humides</p> <p>Limiter l'évaporation du béton non coffré en cours de prise en bétonnant au petit jour, ou pendant la nuit</p> <p>Exécuter rapidement la finition de surface et l'application de la cure</p> <p>Limiter les volumes transportés de béton et réduire les temps d'attente entre porteurs.</p>

CHAPITRE III

APERCU

SUR LA QUALITE

DU BETON PRODUIT.

CHAPITRE III

APERCU SUR LA QUALITE DU BETON PRODUIT

III-1 GENERALITES :

Nous nous sommes proposés de donner ici une indication non exhaustive sur la qualité du béton produit en Algérie. Cette partie est basée sur une analyse statistique de données réelles obtenues, auprès des organismes suivants : C.T.C Blida, C.N.E.R.I.B Tipaza, C.T.C Alger et le L.N.H.C, par [41]. Nous ne traiterons que des essais d'écrasement recueillis dans la région centre, (Alger - Blida et Tipaza), lesquelles ont une liaison directe et/ou indirecte avec nos propres essais.

Ceci permettra d'ailleurs de montrer l'importance que l'on doit accorder à la recherche de l'amélioration de la qualité du béton produit en Algérie et principalement dans la région suscitée.

Dans ce qui suit nous ne traiterons alors pas du problème de la qualité du béton dans toute son intégralité. Nous ne ferons que ressortir les insuffisances constatées sur les performances du béton mis en œuvre du béton dans la région centre (Alger – Blida et Tipaza).

Pour apprécier la qualité du béton produit dans la région centre (Blida, Alger et Tipaza), nous nous sommes donc servis des résultats d'essai d'écrasement du à [41], résultats qui s'étalent de 1988 à 1995.

Ces résultats reflètent avec une plus ou moins grande précision la qualité du béton produit dans la région centre ; chose que nous avons pu vérifier durant nos premiers essais au niveau de l'entreprise.

Le nombre d'éprouvettes (3066) recueillies dans cette analyse est donné au tableau III-1 de la page suivante.

Tableau III-1 : Répartition du nombre d'écrasement d'éprouvettes [41].

Années	88	89	90	91	92	93	94	95
Age								
28 jours	214	360	471	393	545	449	212	422

Le tableau III-2 donne la répartition du nombre d'écrasement d'éprouvettes par zone et par année de la région centre.

Tableau III-2 : Répartition du nombre d'éprouvettes par zone et par année [41].

Années	88	89	90	91	92	93	94	95
Zones								
Alger	63	92	62	81	53	76	94	187
Blida	78	148	123	65	64	47	118	235
Tipaza	73	120	286	247	428	326	/	/

III-2 DISTRIBUTION DES RESISTANCES :

Pour juger de la qualité du béton produit dans nos chantiers nous avons pris comme référence la classification des bétons vue par [42] qui nous paraît très appropriée et que nous présentons au tableau III-3.

Tableau III-3 : Tableau de classification des bétons vue par [42].

Classe	I	II	III	IV
R(bars) fcj	R1	R2	R3	R4
Fc28	$R > 250$	$200 \leq R \leq 250$	$150 \leq R \leq 200$	$R < 150$
Fc21	$R > 230$	$230 \leq R \leq 190$	$140 \leq R \leq 190$	$R < 140$
Fc14	$R > 200$	$160 \leq R \leq 200$	$120 \leq R \leq 160$	$R < 120$
Fc7	$R > 150$	$120 \leq R \leq 150$	$90 \leq R \leq 120$	$R < 90$

Les différentes classes de résistances étant définies, toujours selon [42], comme suit :

- Classe I (R1) :** Les bétons sont considérés comme bons et l'ingénieur peut se dispenser des vérifications de calcul ;
- Classe II (R2) :** Les bétons peuvent être considérés comme acceptables à condition de procéder à des vérifications de calcul avec la nouvelle résistance ;
- Classe III (R3) :** Les résultats sont inacceptables, un confortement de la structure s'impose ;
- Classe IV (R4) :** Les bétons sont très faibles et l'ouvrage ne peut être considéré en béton armé. Une étude de faisabilité s'impose pour choisir entre le confortement et la démolition de l'ouvrage.

La distribution des résistances de ces essais recueillis dans la région centre, conformément à la classification du tableau III-3 est reproduite sur l'histogramme de la figure III-1. Nous ne donnons ici que les résistances à 28 jours lesquelles intéressent, a fortiori, le contrôleur de la qualité du béton.

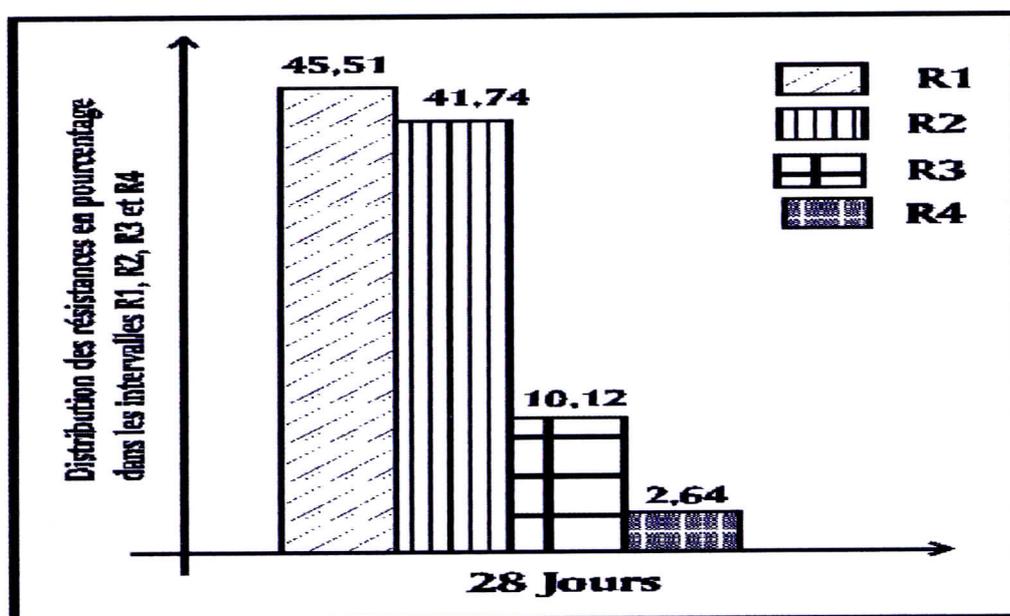


Figure III-1 : Distribution des résistances à 28 jours en % dans les classes de résistances I, II, III et IV dans la région centre [41].

On peut constater sur ce même diagramme que le pourcentage de la classe de résistance des bétons **R2** est voisin de celui de la classe **R1**. Une telle fréquence de **R2** nous paraît inacceptable puisque dans ce cas il est nécessaire de procéder à des vérifications de calcul avec la nouvelle résistance. C'est ce qui est recommandé par les indications du tableau **III-3**. Par la suite il est nécessaire de procéder à une nouvelle estimation globale de la qualité de l'ossature de l'ouvrage.

Notons, ici, que la valeur de 41.74 % de **R2** relevée sur les différents projets des wilayas impose qu'il serait plus judicieux de tenter d'améliorer la qualité du béton produit pour se dispenser de ce fait (la vérification des calculs avec la nouvelle résistance) que l'on peut qualifier de négatif.

Dans le but d'avoir une idée plus ou moins précise sur la distribution des classes de résistances du béton produit dans ces trois wilayas du centre, nous reproduisons les résultats recueillis au tableau **III-4** et à la figure **III-2**.

Tableau III-4 : Résultats en pourcentage des classes de résistances par wilaya [41].

Classes	I	II	III	IV
Régions				
Alger	54.61	31.86	10.24	3.34
Blida	48.54	49.7	1.75	0
Tipaza	33.4	43.66	18.38	4.58

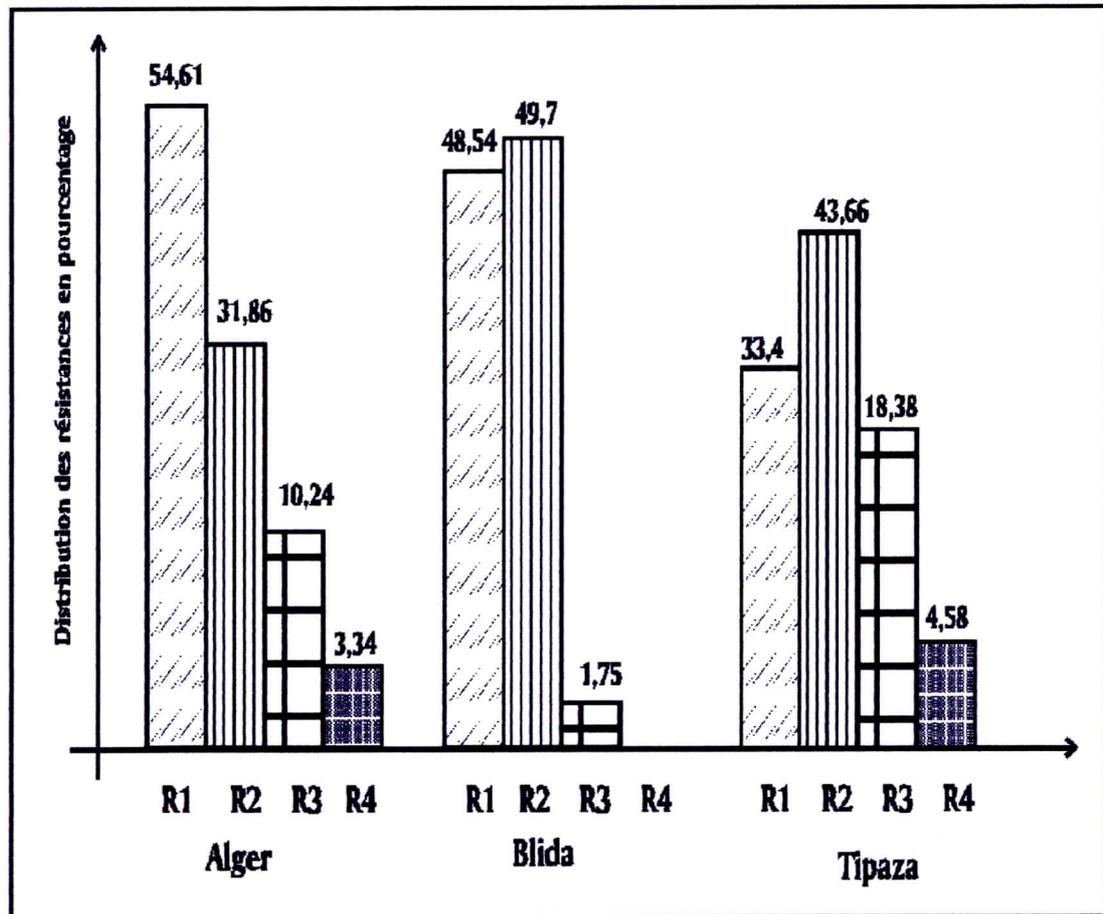


Figure III-2 : Distribution des résistances à 28 jours en % dans les classes de résistances I, II, III et IV pour chacune des trois wilayas [41].

Le tableau III-4 et la figure III-2 montrent bien que la classe de résistance **R2** est importante dans les trois wilayas. Une amélioration de la qualité du béton produit dans la région centre est donc à prescrire.

III-3 ANALYSE DES RESULTATS :

Afin de mieux situer les imperfections constatées dans les performances des bétons de la région centre nous procédons dans ce qui suit à l'analyse des résultats des essais d'écrasement recueillis par [41].

III-3-1 L'écart type :

C'est l'étalement des valeurs autour de la moyenne ; Il exprime la bonne maîtrise de la production du béton. Il est exprimé par la relation suivante :

$$S = \frac{\sum (\sigma_i - \sigma_{moy})}{n}$$

Nous donnons au tableau III-5 les résultats, obtenus pour la région centre de 1988 à 1995.

Tableau III-5 : Résultats d'essais obtenus dans la région centre de 1988 à 1995 [41].

Années	88	89	90	91	92	93	94	95
Nombre d'essais	214	360	471	393	545	449	212	422
Résistance moyenne (bars)	243.59	262.95	262.62	253.06	261.63	248.71	257.56	240.11
Ecart type (bars)	52.29	58.63	51.82	50.62	45.79	38.94	35.35	42.90
Résistance caractéristique (bars)	178.21	196.33	197.84	189.73	204.39	200.03	213.37	186.48

Le tableau III-6 permet selon [42] d'apprécier la qualité du béton produit et renseigne aussi sur la qualification des manipulateurs.

Tableau III-6 : Appréciation de la qualité du béton selon l'écart type [42].

Qualité	Excellente	Bonne	Passable	Mauvaise
Ecart type S (bars)	< 45	45 – 60	60 – 70	> 70

En se référant aux conclusions du tableau III-6 on peut qualifier de ‘ bon’ le béton produit dans la région centre de par son écart type.

On peut dire alors à ce niveau d’analyse que la reproduction des bétons est maîtrisée (main d’œuvre valable) et que ce qui reste à faire est de rechercher un béton de meilleure résistance ; (la résistance moyenne n’étant pas satisfaisante).

III-3-2 Le coefficient de variation :

C’est l’écart type exprimé en pourcentage par rapport à la moyenne. C’est un indice de la régularité de la production du béton. La formule qui permet de le calculer est la suivante :

$$C.V (\%) = \frac{100.S}{\sigma_{moy}}$$

Nous donnons maintenant au tableau III-7 les valeurs du coefficient de variation pour les trois régions du centre que nous avons déjà présentées et ce pour des bétons de centrales et de chantiers.

Tableau III-7 : Coefficients de variation pour la région centre de 1988 à 1995.

Années		88	89	90	91	92	93	94	95
Régions									
Alger	Coefficient de variation (%)	21.46	22.29	19.73	20.00	17.50	15.65	13.72	17.86
Blida									
Tipaza									

Afin de pouvoir apprécier la qualité des bétons produits dans la zone géographique en question, sur la base du coefficient de variation, nous nous référons au tableau **III-8**.

Tableau III-8 : Valeurs usuelles du coefficient de variation [3].

Béton Fabriqué	Valeurs du coefficient de variation		
	Excellentes	Bonnes	Mauvaises
En laboratoire...	$\leq 8 \%$	$\leq 12 \%$	$> 15 \%$
En centrale...	$\leq 10 \%$	$\leq 15 \%$	$> 20 \%$
En chantier...	$\leq 15 \%$	$\leq 20 \%$	$> 25 \%$

Il est très facile de remarquer, selon [3], que la qualité du béton produit dans cette région du centre du pays (Alger, Blida et Tipaza) est de tendance juste moyenne pour ne pas dire mauvaise. Ceci est un facteur supplémentaire nous obligeant de se pencher sur le problème et de tenter une amélioration de la qualité du béton. Cette question fera l'objet d'ailleurs de notre prochain chapitre.

III-3-3 : Récapitulatif des résultats obtenus précédemment pour la région centre :

Nous réunissons dans le tableau **III-9** de la page suivante tous les résultats obtenus pour la région centre et ce pour les années allant de 1988 à 1995.

Tableau III-9 : Résultats obtenus pour la région centre de 1988 à 1995.

Années	88	89	90	91	92	93	94	95
Nombre d'essais	214	360	471	393	545	449	212	422
Résistance moyenne (bars)	243.59	262.95	262.62	253.06	261.63	248.71	257.56	240.11
Ecart type (bars)	52.29	58.63	51.82	50.62	45.79	38.94	35.35	42.90
Résistance caractéristique (bars)	178.21	196.33	197.84	189.73	204.39	200.03	213.37	186.48
Coefficient de variation (%)	21.46	22.29	19.73	20.00	17.50	15.65	13.72	17.86

Nous donnons enfin pour cette région un tableau simplifié sur lequel une lecture facile des résultats moyens nous permet de faire une analyse rapide de la qualité du béton produit donc dans les régions d'Alger, de Blida et de Tipaza.

Tableau III-10 : Caractéristiques du béton dans la région centre de 1988 à 1995.

Age	28 jours
Nombre d'éprouvettes	3066
Contrainte moyenne (bars)	253.77
Ecart type (bars)	47.04
Résistance caractéristique (bars)	195.79
Coefficient de variation (%)	18.52

De ces résultats recueillis et de l'examen des différents tableaux proposés on peut retenir ce qui suit : la résistance moyenne du béton à 28 jours est de l'ordre de 253.77 bars, la résistance caractéristique moyenne de la région est alors de 195.79 bars, le coefficient de variation est, lui, égal à 18.52 % et que l'écart type n'est que de 47.04 bars.

Nous pouvons affirmer à ce stade d'avancement de la recherche que malgré la maîtrise, par le personnel, de la technique de production du béton au vu de l'écart type (relativement à la classification du tableau **III-6**), la contrainte caractéristique reste bien inférieure à celle préconisée par réglementation et les bureaux d'études en Algérie et qui est fixée à 270 bars. Ceci doit nécessairement mériter une attention particulière de tous les concernés de près ou de loin du domaine de l'habitat en général et en particulier les chercheurs.

III-4 APERCU SUR LA QUALITE DU BETON DANS D'AUTRES REGIONS D'ALGERIE :

Nous voulons dans cette partie avoir une idée sur d'autres résultats dus à [43] auxquels nous avons eu la possibilité d'accès et qui concernent la qualité du béton produit dans la région Centre- Est (Tizi-Ouzou) pour la période allant de 1983 à 1993 et la région Ouest (Chlef et Tissemsilt) pour la période allant de 1990 à 1997.

Nous donnons dans les trois tableaux **III-11**, **III-12** et **III-13** qui suivent, respectivement : les répartitions en pourcentage des résistances moyennes, des écarts types et enfin des coefficients de variation.

Notons que ces valeurs ont été extraites des travaux de [43].

Tableau III-11 : Résistances moyennes Fc28 moy. [43].

Régions	Répartition de Fc28 moy en %			
	Fc28 moy < 230 bars	30 < Fc28 moy < 290	90 < Fc28 moy < 330	Fc28 moy > 330 bars
Ouest	00.00	28.00	50.00	22.00
Est	06.67	77.66	16.67	00.00

Tableau III-12 : Ecart types σ [43].

Régions	Répartitions de l'écart type en %		
	$\sigma < 50$ bars	$50 < \sigma < 60$ bars	$\sigma > 60$ bars
Ouest	66.00	11.00	22.00
Est	00.00	00.00	100.00

Tableau III-13 : Coefficients de variation C.V [43].

Régions	Répartition du C.V en %			
	$0 < C.V < 10$ %	$0 < C.V < 15$ %	$5 < C.V < 20$ %	$C.V > 20$ %
Ouest	33.00	39.00	06.00	22.00
Est	00.00	00.00	00.00	100.00

III-4-1 Remarques concernant les zones précitées :

De l'examen des trois tableaux précités il ressort que les résultats obtenus dans la région Ouest vis-à-vis de la résistance moyenne semblent bien meilleurs que ceux obtenus dans la région de Tizi-Ouzou.

De la comparaison des écarts types et des coefficients de variation toujours pour ces deux régions, nous pouvons affirmer que la situation est très préoccupante pour la région de Tizi-Ouzou (100 % des résultats ont un écart type > 60 bars) et les 100 % de ces résultats ont un coefficient de variation supérieur à 20 %. Une attention particulière doit être accordée à cette région.

Il nous semble que les écarts de ces résultats, du moins pour ces deux zones, est due probablement à une attention plus atténuée pour les zones Ouest (surtout Chlef) par une autosensibilisation et un meilleur investissement dans les moyens de contrôle et de suivi et ce, fort probablement à la suite des différents séismes enregistrés dans cette zone et les pertes tant dans le côté humain que patrimonial.

Nous pouvons enfin dire que si dans la zone Ouest la qualité du béton est relativement bonne par rapport à Tizi-Ouzou, nous avons aussi pour cette zone 22 % des résultats dont l'écart type dépasse 60 % et 22 % des résultats dont le coefficient de variation dépasse 20%. Ceci dit, la réflexion et les recherches de possibilités d'amélioration de la qualité du béton s'imposent.

III-5 : CONCLUSION :

En se référant à la classification du tableau **III-6**, on peut dire que le personnel exerçant dans la région centre maîtrise bien la technique de la production ou de la reproduction du béton (l'écart type étant égal à environ 51 bars).

Cette valeur dépasse 50 bars pour environ 33 % des projets à l'Ouest (Tableau **III-12**) malgré les résultats satisfaisants enregistrés sur les résistances moyennes (Tableau **III-11**). Il nous paraît vraisemblable que le béton testé au laboratoire à été spécialement confectionné pour les contrôleurs du béton. Pratique courante devenue presque réglementaire dans nos centrales et chantiers.

Concernant la région de Tizi-Ouzou, et au vu des résultats des tableaux **III-12** et **III-13** (l'écart type et le coefficient de variation sont successivement supérieurs à 60 bars et 100 % pour 100% des projets étudiés), on peut affirmer que de grands efforts sont à déployer tant sur le côté sensibilisation et formation des personnels que sur le côté recherche dans les compositions ou les matériaux en vue d'améliorer cette mauvaise qualité du béton produit dans la zone.

La résistance caractéristique, n'atteignant donc pas la résistance caractéristique considérée dans les bureaux d'études en Algérie (270 bars), doit poser problème pour la majorité des chantiers algériens et nécessite alors une attention particulière ; chose sur laquelle nous nous sommes penchés dans le cadre de ce travail.

Que peut-on faire dans une situation pareille ?

1- Porter des aménagements à la réglementation en ramenant la valeur de la résistance caractéristique dans les calculs à une valeur faible d'environ 180 à 200 bars et qui engendrerait d'une manière nette un surdimensionnement des éléments structuraux et donc gaspillage du matériau et des moyens financiers. Cette manière de faire nous semble pénaliser alors les personnels maîtrisant leur travail et va dans le sens de l'encouragement de la médiocrité et du laisser aller.

2- Veiller par un suivi strict et une sensibilisation large du personnel à ce que toutes les décisions techniques qui s'imposent pour que les performances projetées et les résistances préconisées par les projeteurs et la réglementation soit atteintes.

3- La recherche de compositions des bétons, en tenant compte dans la mesure du possible des moyens disponibles, permettant d'obtenir des bétons aux caractéristiques mécaniques répondants aux exigences des calculs. **C'est le but de ce travail.**

CHAPITRE IV

POSSIBILITES D'AMELIORATION DE LA QUALITE DU BETON.

(ETUDE EXPERIMENTALE)

CHAPITRE IV

POSSIBILITES D'AMELIORATION DE LA QUALITE DU BETON

IV-1 INTRODUCTI ON :

La composition d'un béton consiste à définir le mélange optimal de composants conduisant à un béton dont les qualités soient celles recherchées. Cette composition peut varier suivant le type d'ouvrage envisagé.

Compte tenu de l'insuffisance des résistances tant en traction qu'en compression relevées sur de différents chantiers de la zone centre du pays, notamment Alger, Blida et Tipaza, nous nous sommes proposés dans ce travail de rechercher les éléments nécessaires pour palier aux imperfections observées.

Au cours de nos différentes manipulations nous avons cherché à être le plus proche des conditions de production du béton sur le site afin que nos résultats soient d'une quelconque utilité, autrement dit, reproductibles sur chantier.

IV-2 METHODES DE COMPOSITION DES BETONS (FORMULATION) :

Les méthodes de confection des bétons sont nombreuses. On peut citer les méthodes dites à granularité continue ou discontinue suivantes :

- Méthode de Bolomey ;
- Méthode d'Abrams ;
- Méthode de Faury ;
- Méthode de Valette ;
- Méthode de Baron et Lesage ;
- Méthode de Dreux et Gorisse ;
- Méthode simplifiée.

Dans le cadre de notre travail nous avons opté pour la méthode de Dreux et Gorisse que nous donnons en annexe I.

IV-3 MATERIAUX UTILISES :

IV-3-1 Présentation :

Les granulats utilisés au cours de nos expériences sont ceux utilisés par l'entreprise E.C.B ex. D.N.C de Beni-Mered ; à savoir :

- 1- Sable 0/5 roulé d'Oued provenant de Chlef ;
- 2- Sable 0/5 concassé de carrière provenant de la carrière Keddara ;
- 3- Gravier 3/8 concassé provenant de la carrière Keddara ;
- 4- Gravier 8/15 concassé provenant de la carrière Keddara ;
- 5- Gravier 15/25 concassé provenant de la carrière Keddara.

A noter que ces granulats sont, dans une large part, siliceux.

Pour éviter les disparités d'échantillonnage, les granulats utilisés, durant une grande partie de notre travail, sont issus de la même livraison. Ceci afin de cerner les facteurs de composition qui influent négativement sur les performances du béton.

Les courbes granulaires des sables et des graviers utilisés sont regroupées sur les figures **IV-1** et **IV-2**.

Le module de finesse du sable d'oued provenant de Chlef vaut **1.98** (sable relativement fin), celui du sable concassé provenant de la carrière Keddara vaut **2.7** (sable relativement grossier).

Les masses volumiques des granulats utilisés ont été de 2600 kg/m³ et 2650 kg/m³ pour les sables et les graviers respectivement.

Les valeurs des équivalents de sable ont été de :

- **89 %** pour le sable d'oued provenant de Chlef ;
- **86 %** pour le sable concassé de la carrière de Keddara (ce qui correspond à un sable très propre selon la classification du tableau **II-4**).

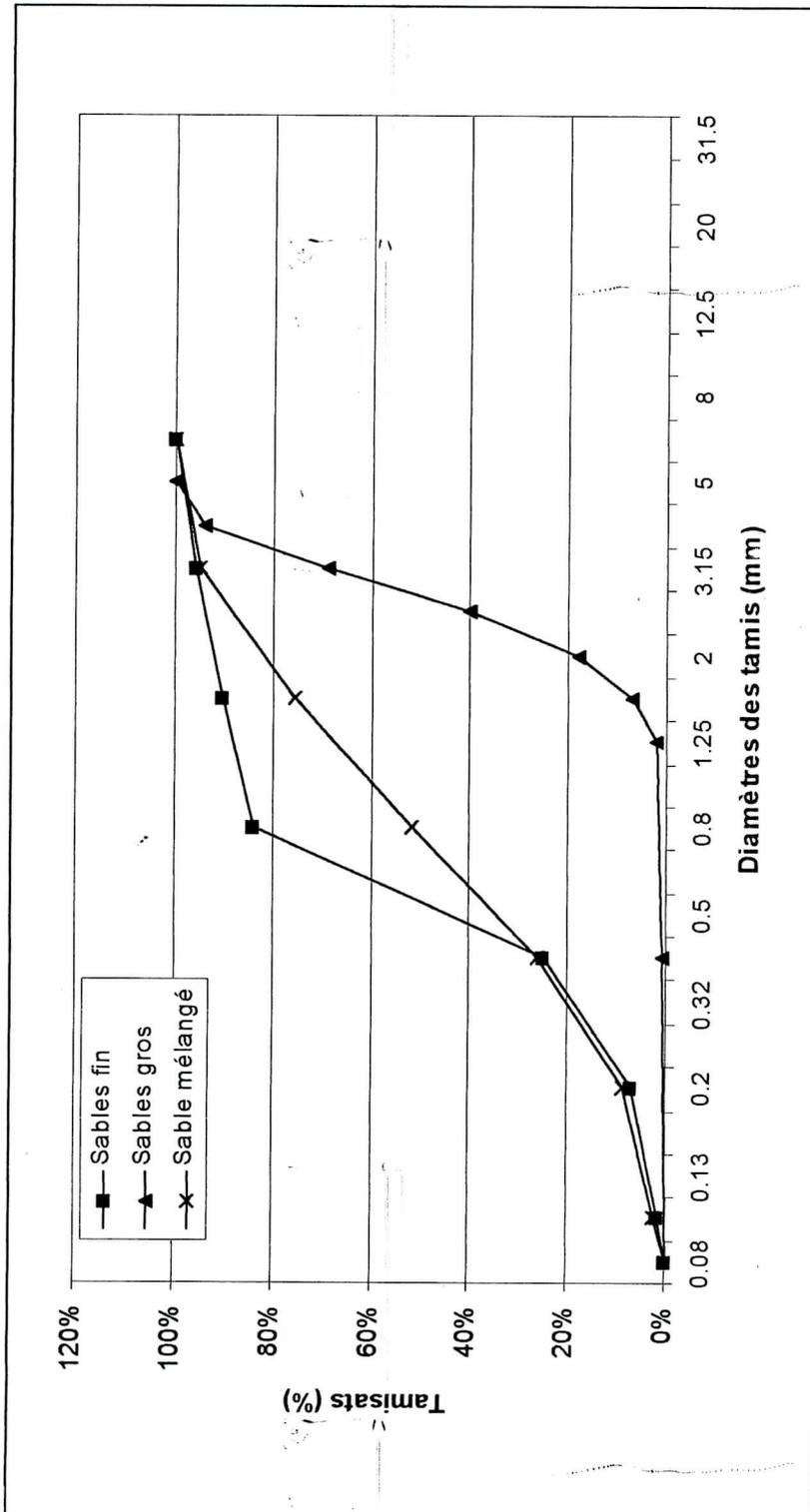


Figure IV-1 : Courbes granulaires des sables utilisés

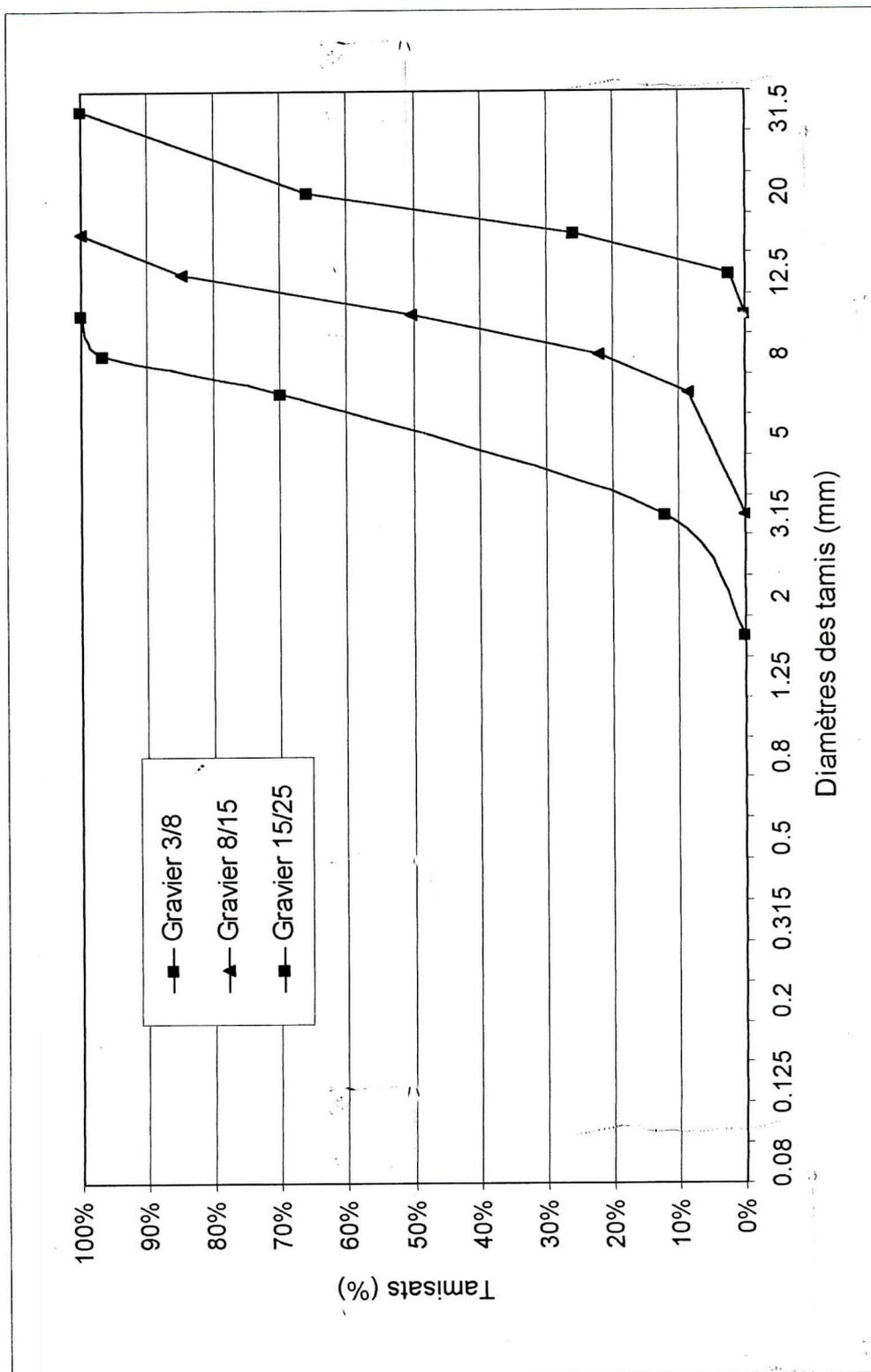


Figure IV-2 : Courbe granulatoire des trois graviers utilisés

IV-3-2 Le liant :

Le liant utilisé est un CPA 325 produit par la cimenterie de Raïs-Hammidou (Alger). Les granulats sont les mêmes que ceux habituellement commercialisés.

IV-3-3 Autres produits (adjuvants) :

Nous avons, durant nos expériences, essayer deux types d'adjuvants :

- Le PLASTIMENT BV 40 qui est un plastifiant réducteur d'eau destiné selon le fabricant pour des bétons de hautes résistances mécaniques ;
- Le PLASTIRETARD qui est un plastifiant retardateur pour béton.

Ces deux produits sont commercialisés par **Sika O.M** Alger.

Les fiches techniques concernant ces deux adjuvants utilisés sont données en annexe **II**.

IV-4 CONFECTION DES EPROUVETTES :

Pour la formulation des mélanges nous avons donc utilisé la méthode dite de "Dreux Gorisse" qui est de loin la méthode la plus appréciable du point de vu pratique. Elle est la méthode la plus utilisée, dans notre pays, pour déterminer la composition des bétons. Ceci nous permet, par ailleurs, d'aboutir à des résultats que l'on peut comparer à ceux relevés sur de différents chantiers.

IV-4-1 Préparation des mélanges :

Conformément à la norme NF 18.404, les constituants, après avoir été pesés, sont introduits du plus gros au plus fin à l'intérieur du malaxeur (le ciment étant introduit juste avant le sable). Le malaxage dure une minute à sec et se prolonge durant deux minutes après ajout de l'eau.

L'ajustement de la teneur en eau a été réalisé en fonction de l'affaissement au cône d'Abrams.

IV-4-2 Mise en place du béton dans les moules :

Le remplissage des moules cylindriques se fait en deux couches successives systématiquement piquées à l'aide d'une tige métallique de 16mm de diamètre.

IV-5 CONSERVATION :

Après la mise en place du béton, les éprouvettes sont conservées dans leurs moules à l'intérieur du laboratoire à une température de $20 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Pour éviter tout échange hydrique avec l'extérieur, la face supérieure du moule est protégée par un film en plastique.

Les éprouvettes confectionnées sont démoulées 24 heures après leur mise en place puis conservées dans un milieu approprié.

An cours de notre travail nous avons utilisé deux principaux mode de conservation :

- dans l'eau ;
- à l'air libre (ambiance du laboratoire)

IV-6 TYPE D'ESSAI REALISE :

La résistance à la compression est la caractéristique la plus significative pour apprécier la qualité du béton. Nous avons donc retenu, pour principal essai, l'essai de compression simple. Les échéances des essais ont été de 3, 7, et 28 jours

Juste avant les essais on procède à la préparation des éprouvettes doivent présenter une planéité parfaite des faces de chargement ainsi qu'une orthogonalité par rapport aux génératrices du cylindre.

Le surfaçage a été réalisé à l'aide d'une machine qui opère par ponçage des faces de chargement.

La mise en charge s'effectue avec une vitesse de montée en charge constante de 0.5 MPa (5 bars) par seconde jusqu'à la rupture de l'éprouvette.

IV-7 DIFFERENTS BETONS ETUDIES :

Ce travail consacré à l'étude des bétons d'usage courant s'intéresse principalement à la résistance à la compression et se veut proche des conditions pratiques de réalisation. C'est pourquoi le choix des matériaux s'est fait en conséquence, à savoir des ciments commerciaux et des granulats classiques habituellement utilisés par nos chantiers.

Afin d'arriver à des conclusions exploitables en pratique, (objectif fixé initialement et conjointement avec les responsables du laboratoire), il m'a été permis de réaliser toutes les combinaisons possibles des matériaux disponibles au niveau des stocks habituels de l'entreprise.

Le but de ce chapitre est donc de mettre en évidence les paramètres de composition qui influent négativement sur les performances mécaniques du béton. Ceci, dans un premier temps, puis, dans un second temps nous tenterons d'éclairer les paramètres de composition qui permettent une amélioration de la qualité du béton.

Nous avons alors confectionné plusieurs bétons qui diffèrent par leur composition, la nature des granulats, les teneurs en eau, les dosages en ciment et la présence ou non d'adjuvants.

IV-7-1 Béton type A :

Ce premier type de béton est confectionné avec les deux graviers 8/15 et 15/25 et le sable fin de Chlef habituellement utilisés par l'entreprise.

La courbe granulométrique de ce premier mélange est donnée sur la figure **IV-3**.

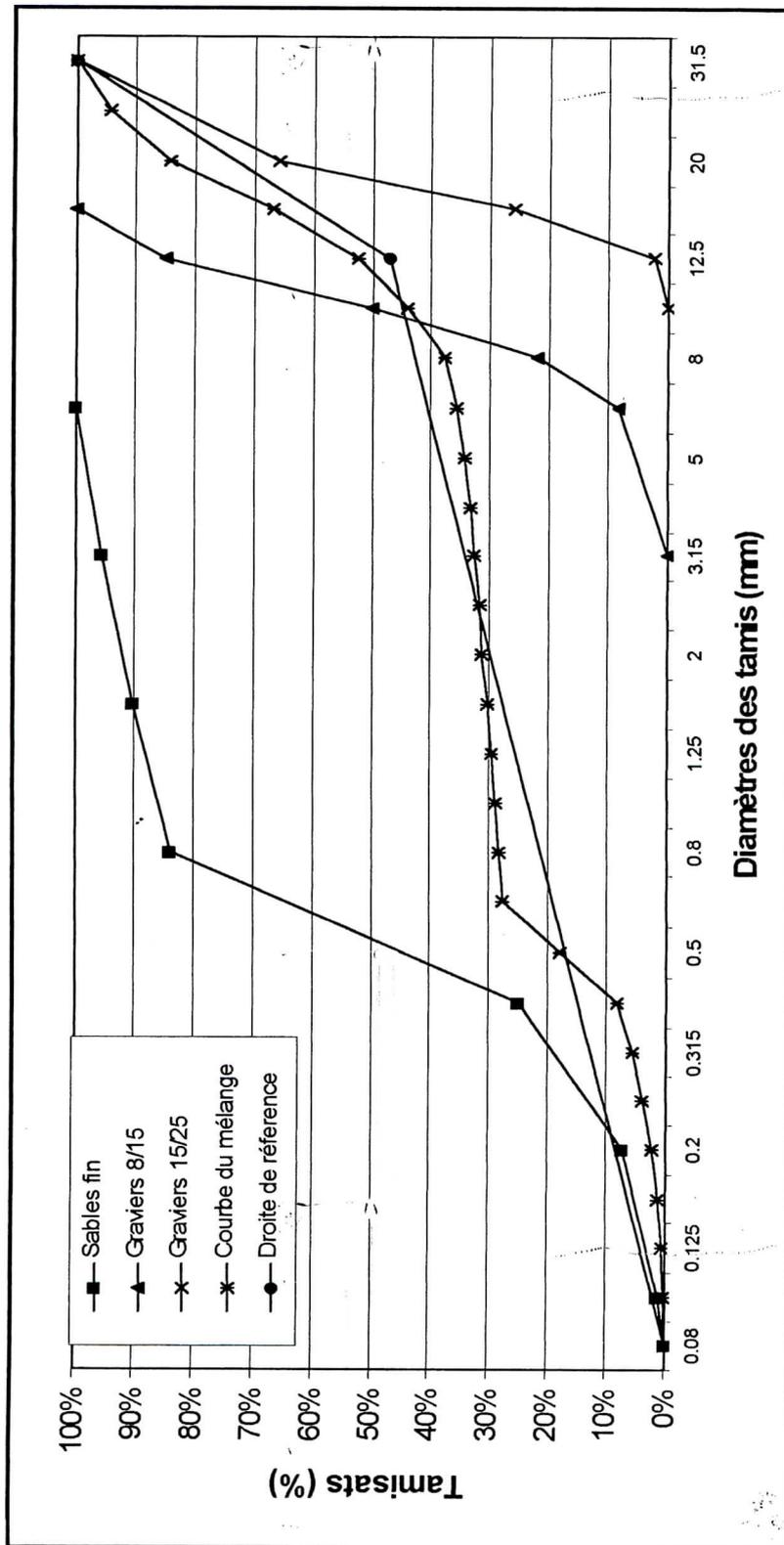


Figure IV-3 : Courbe Granulaire du mélange (Béton type A)

Béton A1 :

Ce béton est confectionné avec les deux graviers 8/15 et 15/25, le sable fin de Chlef et un ciment exposé volontairement à l'air libre à l'intérieur du laboratoire en vue de montrer l'influence de la mauvaise conservation du ciment sur la qualité du béton.

La composition de ce premier béton est donnée au tableau IV-1 et les résultats des essais d'écrasement sont rapportés au tableau IV-2.

Tableau IV-1 : Composition du béton A1.

Sable fin (Chlef) (Kg)	Gravier 8/15 (Kg)	Gravier 15/25 (Kg)	Ciment * (Kg)	E/C	Affaissement (cm)
642	385	886	350	0.68	11-12

* Ciment mal stocké (Exposé à l'air libre).

Tableau IV-2 : Résultats d'écrasement du béton A1.

Ages d'essai et Ambiances de cure	3 jours		7 jours		28 jours	
	EAU	AIR	EAU	AIR	EAU	AIR
Contraintes de rupture (MPa)	4.4	4.6	10.0	9.7	18.0	15.3
	4.8	4.4	11.0	10.4	17.7	15.6
	4.6	4.7	10.8	10.0	18.0	16.0

La figure IV-4 donne la courbe de l'évolution de la résistance du béton type A1.

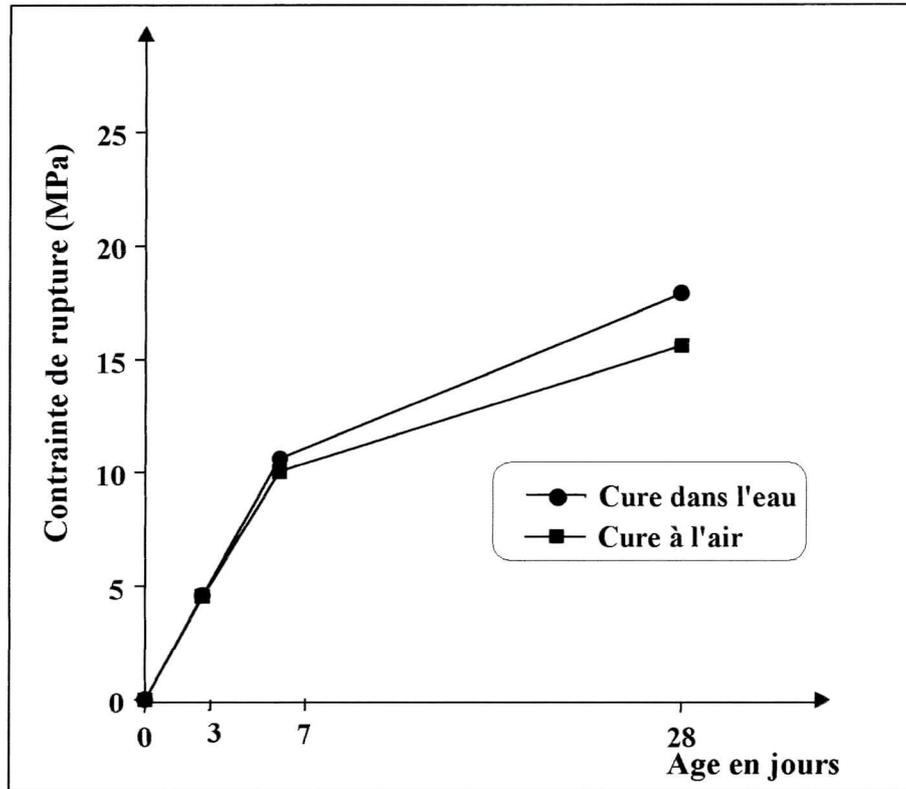


Figure IV-4 : Evolution de la résistance à la compression du béton A1.

Ces essais montrent bien l'influence de la mauvaise conservation du ciment. En effet ce dernier peut s'hydrater légèrement étant exposé à l'air libre. La partie active du liant restant peut être qualifiée à juste titre d'insuffisante eu égard aux performances envisagées.

On peut constater que les résultats obtenus sont très loin des performances projetées (31 MPa). On peut dire, ici, que le mode de stockage a une influence non négligeable sur les performances des bétons.

Par ailleurs, on peut remarquer que l'influence du milieu de cure sur les performances mécaniques du béton n'est pas très significative durant les premiers jours.

Béton A2 :

Après ce mauvais exemple et qui n'est pas une possibilité exclue de ce qui se passe réellement sur nos chantiers, nous avons repris le travail avec les matériaux normalement stockés (principalement le ciment) en commençant par le béton habituellement fabriqué par l'entreprise et qui est fabriqué à partir d'un mélange de sable fin, de graviers 8/15 et 15/25. Le dosage en ciment est de 350 kg/m3 de béton.

Ce béton à été considéré, au cours de notre travail, comme le béton de référence. C'est à partir de ce dernier que nous avons commencé notre tentative d'amélioration.

La composition de ce béton dit de "référence" est donnée au tableau IV-3.

Les résultats obtenus avec ce béton, pour lequel et au vu de son affaissement, la mise en œuvre nécessite de bons moyens de vibration, sont regroupés au tableau IV-4.

Tableau IV-3 : Composition du béton A2.

Sable fin (Chlef) (Kg)	Gravier 8/15 (Kg)	Gravier 15/25 (Kg)	Ciment (Kg)	E/C	Affaissement (cm)
642	385	886	350	0.55	5-6

Tableau IV-4 : Résultats d'écrasement du béton A2.

Ages d'essai et Ambiances de cure	3 jours		7 jours		28 jours	
	EAU	AIR	EAU	AIR	EAU	AIR
Contraintes de rupture (MPa)	7.9	7.9	15.1	15.0	25.6	21.0
	8.4	8.6	16.5	15.5	25.3	21.6
	8.2	8.2	15.5	15.0	26.0	21.2

Sur la figure IV-5 sont regroupés les évolutions des bétons A1 et A2.

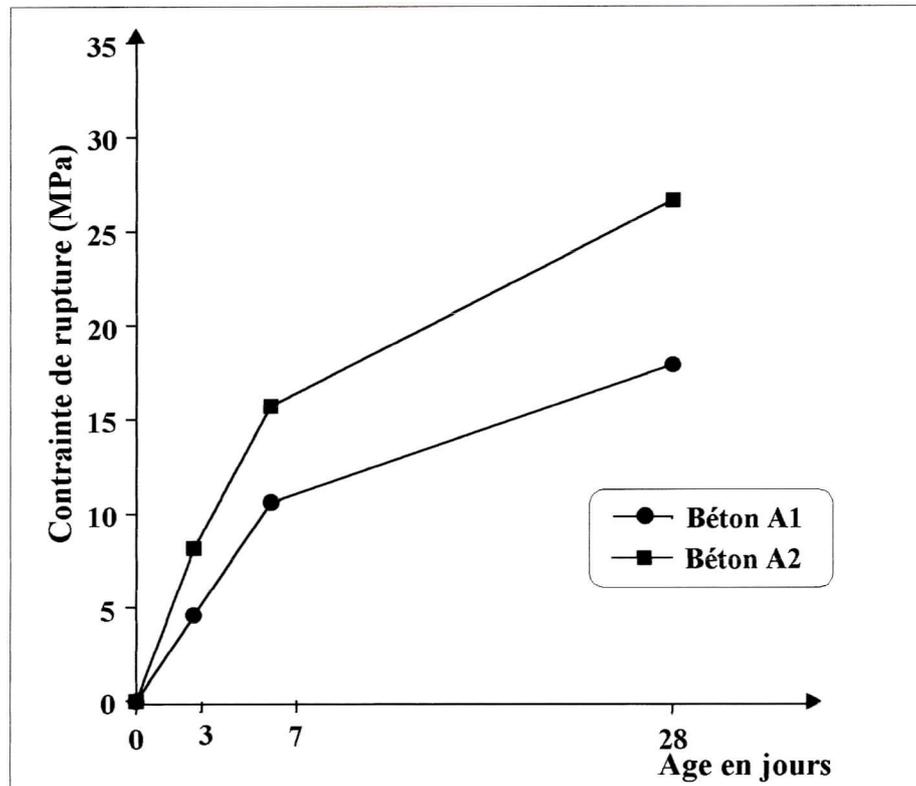


Figure IV-5 : Evolution de la résistance à la compression des bétons A1 et A2.

Les écarts ont été observés dès le troisième jour puisque à cet âge, pour ce deuxième béton A2, les résultats d'écrasement étaient comparables à ceux obtenus à sept jours pour le béton A1.

Une augmentation proche de 50 % a été observée à sept jours et environ 40 % à vingt huit jours. Mais, ici, l'affaissement au cône a été de 5-6 cm contre 11-12 cm pour le béton A1 ce qui ne nous permet pas une comparaison adéquate.

Toutefois, on peut insister sur la nécessité de bien conserver les ciments dans des silos réservés à cet effet et de ne pas utiliser de ciments exposés lesquels présentent à vue des grumeaux qui peuvent être le résultat d'une légère hydratation.

Béton A3 :

Après l'analyse des résultats obtenus avec le béton **A2** dont l'affaissement est de (5- 6 cm) ce qui nécessite de bons moyens de vibration, nous avons penser à confectionner un béton qui soit le plus proche de celui commercialisé habituellement par l'entreprise (affaissement de l'ordre de 11 à 12 cm). C'est donc le béton **A1** mais avec un ciment normalement stocké. Ceci nous permettra, par ailleurs d'observer l'influence du mode de conservation du liant.

La composition de ce béton **A3** est donnée au tableau **IV-5**.

Les résultats obtenus sont rapportés au tableau **IV-6** et à la figure **IV-6**.

Il est à noter que ce dernier béton répond très bien aux exigences de mise en œuvre.

Tableau IV-5 : Composition du béton A3.

Sable fin (Chlef) (Kg)	Gravier 8/15 (Kg)	Gravier 15/25 (Kg)	Ciment (Kg)	E/C	Affaissement (cm)
642	385	886	350	0.68	11-12

Tableau IV-6 : Résultats d'écrasement du béton A3.

Ages d'essai et Ambiances de cure	3 jours		7 jours		28 jours	
	EAU	AIR	EAU	AIR	EAU	AIR
Contraintes de rupture (MPa)	7.2	7.3	15.0	14.0	25.0	19.6
	7.5	7.0	14.8	14.4	24.6	20.1
	7.0	7.5	14.1	14.0	24.3	20.1

A titre comparatif les résultats obtenus avec les bétons **A2** et **A3** qui sont de même composition mais de teneurs en eau différentes sont reproduits à la figure **IV-7**.

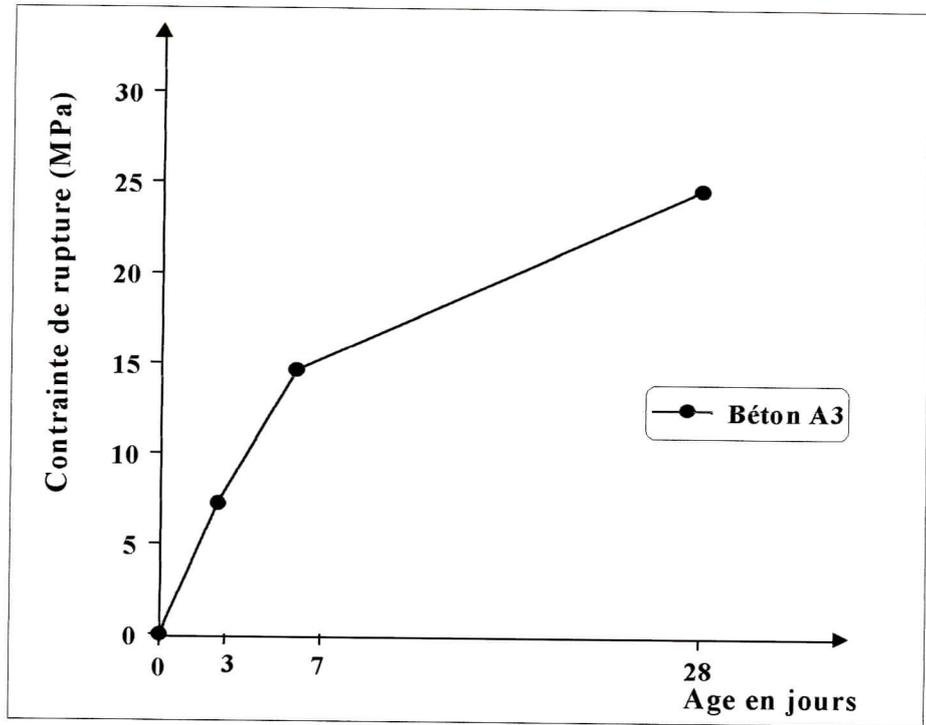


Figure IV-6 : Evolution de la résistance à la compression du béton A3.

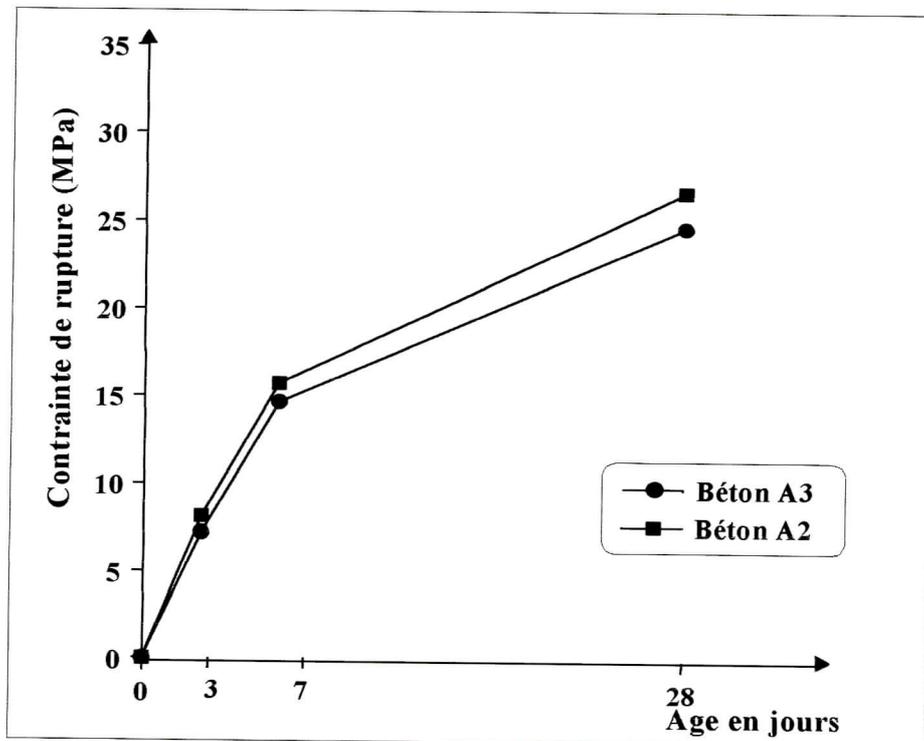


Figure IV-7 : Evolution de la résistance à la compression des bétons A2 et A3.

Le rôle du mode de conservation est ici bien apparent.

En outre, on peut remarquer le rôle prépondérant de l'ouvrabilité. En effet, les résultats obtenus pour ce béton **A3** d'affaissement 11 à 12 cm sont légèrement plus faibles par rapport à ceux du béton **A2** d'affaissement 5 à 6 cm. Une diminution d'environ 4 % de la résistance à vingt huit jours a été observée (la comparaison étant toujours faite entre les bétons conservés dans l'eau).

On peut attribuer cette perte de résistance à l'augmentation du rapport E/C qui est plus élevée avec le béton **A3** (0.68 pour le béton **A3** ; 0.55 pour le béton **A2**).

Les résultats obtenus avec les bétons **A2** et **A3** n'ayant pas atteint les performances souhaitées, nous avons, par la suite, été conduit à rechercher une autre composition dont la courbe du mélange soit plus proche de la courbe granulairre théorique de référence de ces deux bétons laquelle est reproduite à la figure **IV-8**.

La nouvelle composition à quatre éléments nous conduit alors à un nouveau béton que nous appellerons béton type **B**.

IV-7-2 Béton type B :

Béton B1 :

Pour rapprocher au mieux la courbe granulairre du mélange de celle de référence nous avons donc introduit un troisième gravier (3/8). Ce dernier gravier (3/8) peut aussi occuper certains espaces entre les grains des graviers 8/15 et 15/25. L'adjonction du gravier 3/8 peut améliorer la compacité du mélange et apporte une correction au sable fin de Chlef.

L'objectif visé est alors l'obtention d'un béton plus compact et plus performant que les bétons **A2** et **A3**.

La figure **IV-8** illustre donc la courbe du mélange de ce nouveau béton (type **B**).

La composition de ce nouveau béton est donnée au tableau **IV-7** et les résultats obtenus sont regroupés au tableau **IV-8**.

Tableau IV-7 : Composition du béton B1.

Sable fin (chlef) (Kg)	Gravier 3/8 (Kg)	Gravier 8/15 (Kg)	Gravier 15/25 (Kg)	Ciment (Kg)	E/C	Affaissement (cm)
491	231	308	886	350	0.55	5-6

Tableau IV-8 : Résultats d'écrasement du béton B1.

Ages d'essai et Ambiances de cure	3 jours		7 jours		28 jours	
	EAU	AIR	EAU	AIR	EAU	AIR
Contraintes de rupture (MPa)	8.7	8.5	18.1	19.0	29.6	26.0
	9.0	8.8	19.1	17.9	31.6	27.0
	10.1	9.1	18.7	18.0	30.7	25.6

La figure **IV-9** montre l'évolution comparée de la résistance de ce béton **B1** à celle du béton **A2** lequel est de même teneur en eau mais sans gravier intermédiaire 3/8.

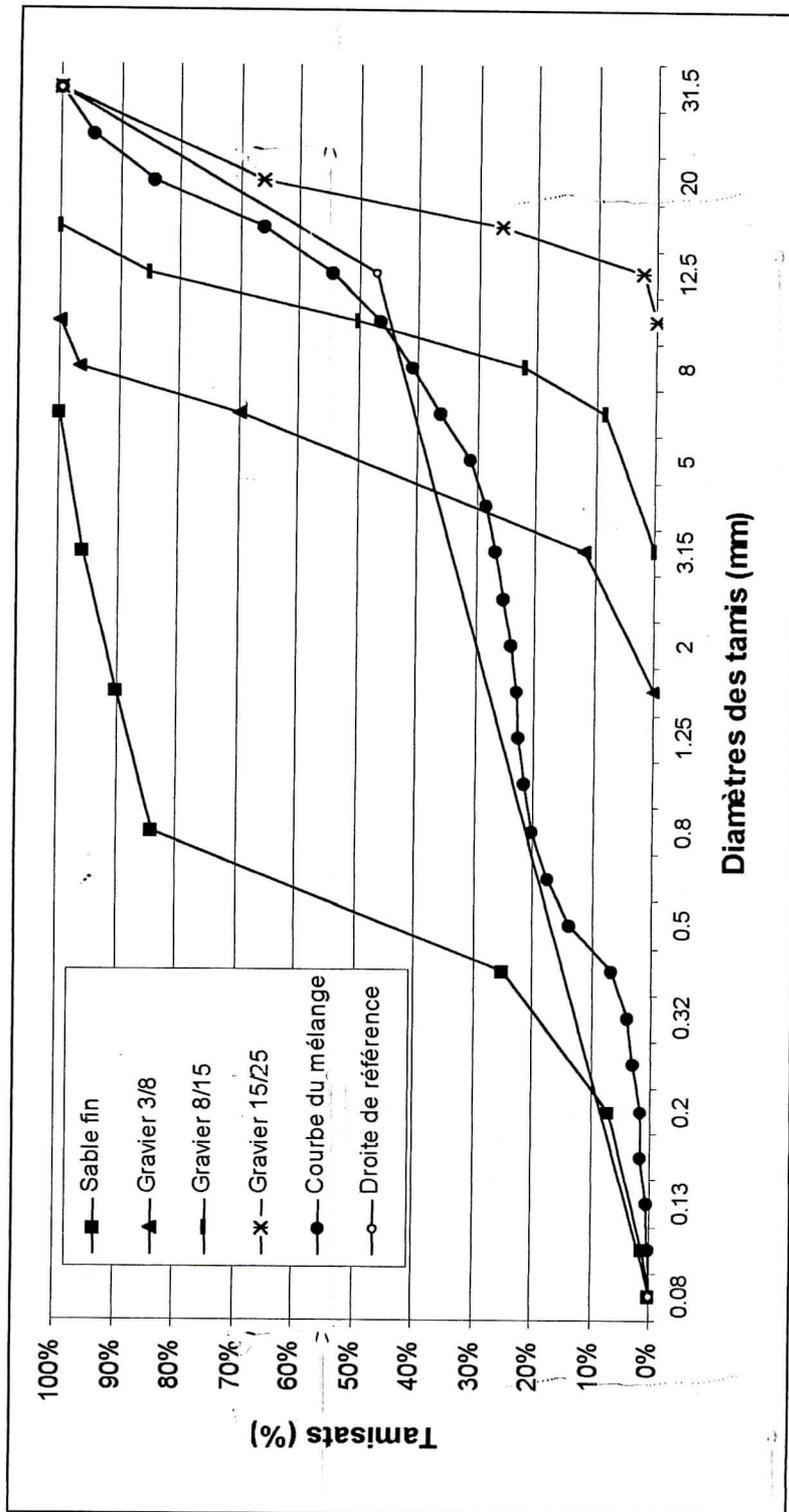


Figure IV-8 : Courbes granulaires du mélange (Béton type B)

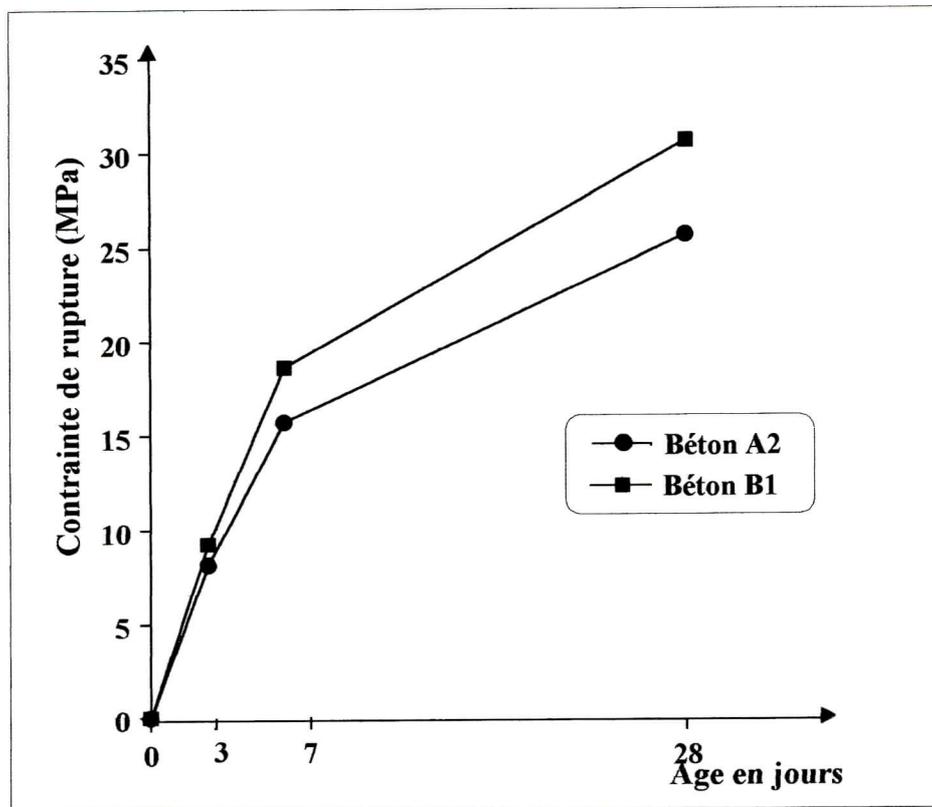


Figure IV-9 : Evolution de la résistance à la compression des bétons A2 et B1.

Les résultats obtenus avec ce béton que l'on peut qualifier de béton de laboratoire de par sa consistance (Affaissement 5 à 6 cm) sont nettement meilleurs que ceux obtenus avec le béton A3. Une meilleure comparaison peut être faite avec le béton A2 qui est un béton de même consistance.

Si le gain de résistance obtenu avec ce béton d'affaissement 5 à 6 cm par rapport au béton A3 de consistance molle (affaissement 11 à 12 cm, $E/C \approx 0.68$) peut s'expliquer par la différence des teneurs en eau, le gain de résistance d'environ 20 % à 28 jours par rapport au béton A2 qui est de même teneur en eau (affaissement 5 à 6 cm) ne peut être du qu'à l'apport du gravier 3/8 qui a du conduire à une meilleure courbe granulatoire du mélange.

Nous pouvons alors, au vu de ces résultats obtenus, conclure que l'apport du gravier intermédiaire 3/8 est bénéfique pour ce béton classique qui utilise un sable fin.

Béton B2 :

Ce béton **B2** diffère du béton **B1** par la teneur en eau. Ceci pour des raisons de mise en œuvre et dans une moindre mesure pour reproduire à peu près le béton habituellement fabriqué au niveau des chantiers.

Le béton **B2** et donc le béton **B1** auquel nous avons ajouté environ 46 litres d'eau nécessaire a une consistance plastique. Le tableau **IV-9** en donne la composition.

Les résultats obtenus avec ce béton de meilleure ouvrabilité sont rassemblés dans le tableau **IV-10**.

Tableau IV-9 : Composition du béton B2.

Sable fin (Chlef) (Kg)	Gravier 3/8 (Kg)	Gravier 8/15 (Kg)	Gravier 15/25 (Kg)	Ciment (Kg)	E/C	Affaissement (cm)
491	231	308	886	350	0.68	11-12

Tableau IV-10 : Résultats d'écrasement du béton B2.

Ages d'essai et Ambiances de cure	3 jours		7 jours		28 jours	
	EAU	AIR	EAU	AIR	EAU	AIR
Contraintes de rupture (MPa)	9.4	8.0	17.1	17.0	28.8	26.7
	8.6	8.3	18.0	16.5	28.0	26.4
	8.6	9.0	17.6	17.1	28.4	26.3

La figure **IV-10** donne les évolutions comparées des résistances à la compression des bétons **B1** et **B2** lesquels, rappelons le, ne diffèrent que par la teneur en eau.

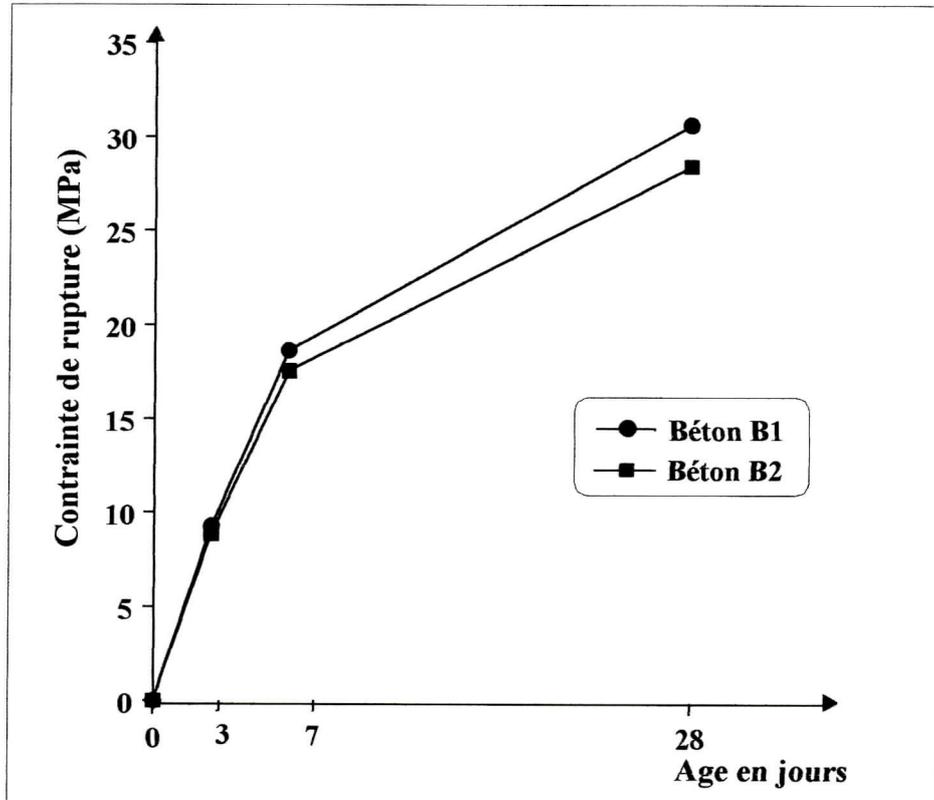


Figure IV-10 : Evolution de la résistance à la compression des bétons B1 et B2.

Les résultats obtenus avec ce béton que l'on ne peut qualifier maintenant de laboratoire de par son affaissement, sont légèrement plus faibles par rapport à ceux obtenus avec le béton **B1**. Ceci peut être principalement dû au rapport E/C qui est plus élevé dans le cas présent.

Par ailleurs on peut remarquer que les résistances des bétons **B1** et **B2** sont proches de la résistance moyenne désirée, fixée initialement à 31 MPa.

On peut dire que la résistance projetée est atteinte avec le béton **B1** mais ce dernier se caractérise par une faible ouvrabilité. Nous allons donc tenter d'améliorer l'ouvrabilité de ce béton par un moyen autre que l'augmentation de la quantité d'eau de gâchage qui, comme le montrent les résultats obtenus avec le béton **B2**, conduit à une diminution des résistances.

Béton B3 :

Compte tenu des résultats satisfaisant obtenus avec les bétons **B1** et **B2** et en vu d'améliorer leur ouvrabilité nous avons dans une première tentative utilisé un adjuvant réducteur d'eau. Il s'agit de l'adjuvant « PLASTIMENT BV 40 » dont la notice technique est placée en annexe.

La composition de ce nouveau béton utilisant l'adjuvant « PLASTIMENT BV 40 » est donnée au tableau **IV-11**.

Les résultats obtenus de ce béton, d'ouvrabilité acceptable, sont rapportés au tableau **IV-12**.

Tableau IV-11 : Composition du béton B3.

Sable fin (Chlef) (Kg)	Gravier 3/8 (Kg)	Gravier 8/15 (Kg)	Gravier 15/25 (Kg)	Ciment (Kg)	Adjuvant BV 40 (%)	E/C	Affaissement (cm)
491	231	308	886	350	0.5	0.51	7-8

Tableau IV-12 : Résultats d'écrasement du béton B3.

Ages d'essai et Ambiances de cure	3 jours		7 jours		28 jours	
	EAU	AIR	EAU	AIR	EAU	AIR
Contraintes de rupture (MPa)	14.2	14.1	17.8	19.9	29.4	25.6
	14.4	14.3	19.4	22.8	31.0	27.3
	15.0	14.3	18.3	21.4	30.6	26.2

La figure **IV-11** montre l'évolution de la résistance mécanique du béton **B3** comparée à celles des bétons **B1** et **B2**.

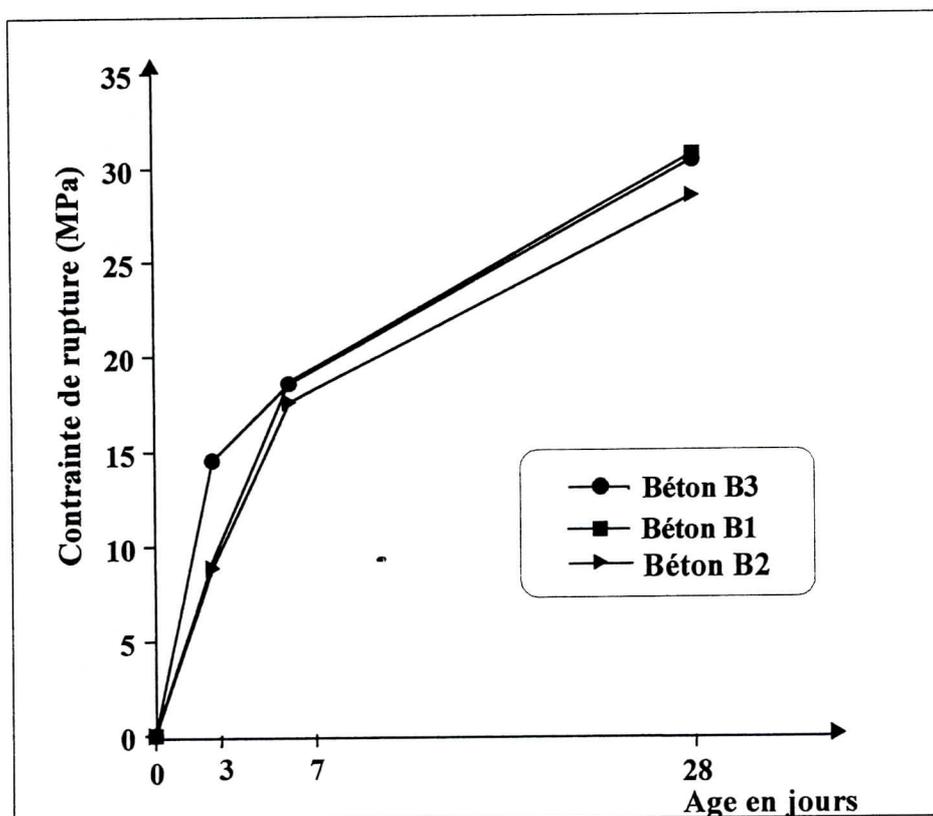


Figure IV-11 : Evolution de la résistance à la compression des bétons B1, B2 et B3.

On peut constater sur la figure IV-11 le rôle important de l'adjuvant réducteur d'eau BV 40. En effet les résultats obtenus à 3 jours d'âge sont comparables aux résultats obtenus à 7 jours pour les autres bétons (notamment le béton type A3).

Par contre les valeurs de résistance obtenues à 7 jours et 28 jours sont à peu près les mêmes qu'avec le béton B1.

On peut dire que les bétons B1 et B3 présentent les mêmes performances mécaniques.

Il est important de signaler ici que l'adjuvant réducteur d'eau nous a permis une amélioration de l'ouvrabilité.

Béton B4 :

Le béton **B4** est de composition voisine de celle des bétons **B1, B2** et **B3** du point de vu agrégats et ciment (Ils sont tous du type **B**). Ce béton ne diffère que par l'utilisation d'un autre type d'adjuvant. Il s'agit du plastifiant retardateur "G3". Ceci permet d'obtenir un béton de consistance relativement molle avec une faible teneur en eau et aussi d'améliorer les performances obtenues avec les bétons **B1** et **B3**.

L'adjuvant plastifiant retardateur "G3" utilisé est connu sous le nom de «PLASTIRETARD». Sa notice technique est donnée en annexe.

La composition du béton **B4**, utilisant ce dernier adjuvant, est donnée au tableau **IV-13**.

Pour ce béton la maniabilité est moindre comparée à celle utilisant le plastiment BV 40.

Les résultats d'essais sont regroupés dans le tableau **IV-14**.

Tableau IV-13 : Composition du béton B4.

Sable fin (Chlef) (Kg)	Gravier 3/8 (Kg)	Gravier 8/15 (Kg)	Gravier 15/25 (Kg)	Ciment (Kg)	Adjuvant Plastiretard (%)	E/C	Affaissement (cm)
491	231	308	886	350	1.5	0.48	5-6

Tableau IV-14 : Résultats d'écrasement du béton B4.

Ages d'essai et Ambiances de cure	3 jours		7 jours		28 jours	
	EAU	AIR	EAU	AIR	EAU	AIR
Contraintes de rupture (MPa)	21.8	18.5	27.8	23.1	35.6	29.6
	21.0	17.9	26.9	22.7	34.5	28.7
	21.2	18.1	27.1	23.0	35.1	30.0

La figure IV-12 donne l'évolution de la résistance comparée des bétons **B1** et **B4**. Cette comparaison est motivée par le fait que les deux bétons ne diffèrent que par leur teneur en eau, les affaissements, mesurés au cône d'Abrams sont égaux.

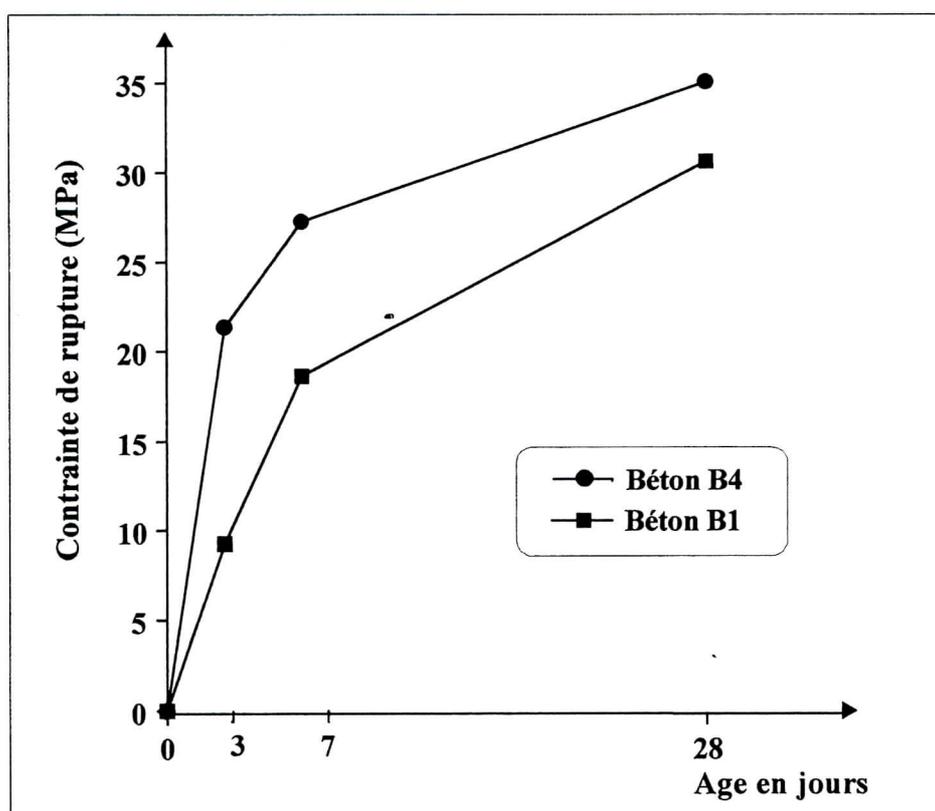


Figure IV-12 : Evolution de la résistance à la compression des bétons **B1** et **B4**.

Les résultats obtenus à 3 jours d'âge sont comparables à ceux obtenus à 7 jours pour le béton **B1**. L'ouvrabilité des bétons **B1** et **B4** est la même avec des rapports E/C différents (0.55 pour le béton **B1** et 0.48 pour le béton **B4**).

Les résultats obtenus à 28 jours avec le béton **B4** peuvent être qualifiés de très bons, (Contraite moyenne de rupture \approx 35 MPa), par rapport aux résultats habituellement constatés sur nos chantiers. L'inconvénient de ce dernier béton reste sa maniabilité qui nécessite d'être améliorée.

Les performances mécaniques observées peuvent être aisément expliquées par la réduction d'eau (12.5 % par rapport au béton B1) et probablement par un meilleur serrage de l'édifice granulaire.

Béton B5 :

En vu d'améliorer la maniabilité du béton B4, nous avons ajouté une quantité d'eau égale à 12 litres par mètre cube de béton soit 7.15 %.

La composition du béton B5, qui est donnée au tableau IV-15, est alors celle du béton B4 à laquelle est ajoutée une quantité d'eau supplémentaire.

En effet, la quantité d'eau de gâchage ajoutée a permis l'obtention d'un béton d'ouvrabilité acceptable (affaissement qui avoisine les 8 cm). Le rapport E/C est alors de 0.51 au lieu de 0.48.

Les résultats obtenus sont réunis dans le tableau IV-16.

Il nous semble, à ce stade, possible de dire que ce béton B5 est le meilleur béton que nous avons obtenu jusque là.

Tableau IV-15 : Composition du béton B5.

Sable fin (Chlef) (Kg)	Gravier 3/8 (Kg)	Gravier 8/15 (Kg)	Gravier 15/25 (Kg)	Ciment (Kg)	Adjuvant Plastiretard (%)	E/C	Affaissement (cm)
491	231	308	886	350	1.5	0.51	7-8

Tableau IV-16 : Résultats d'écrasement du béton B5.

Age d'essai et Ambiances de cure	3 jours		7 jours		28 jours	
	EAU	AIR	EAU	AIR	EAU	AIR
Contraintes de rupture (MPa)	18.0	16.1	24.0	21.0	31.5	27.2
	18.1	17.0	24.2	20.0	32.0	27.0
	17.6	17.0	23.8	20.8	31.0	26.0

Nous représentons sur la figure IV-13 les courbes d'évolution des résistances des deux bétons B4 et B5 pour voir explicitement l'influence de la teneur en eau sur les performances mécaniques du béton.

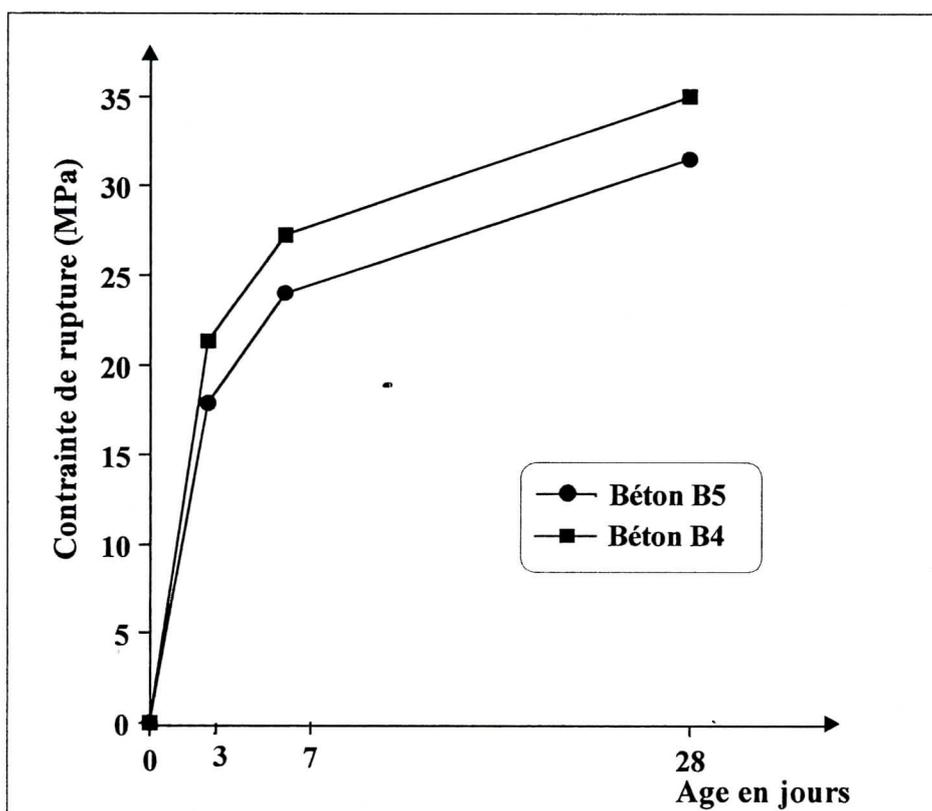


Figure IV-13 : Evolution de la résistance à la compression des bétons B4 et B5.

La première remarque c'est la satisfaction des performances projetées tout à fait au début de la recherche c'est-à-dire l'atteinte de la résistance moyenne désirée qui a été fixée à 31 MPa.

On remarque ensuite cette baisse logique de résistance du béton B5 par rapport au béton B4 qui est estimée à environ 10 % et qui est, a fortiori, due à l'augmentation de la teneur en eau de gâchage qui, elle, est estimée à 7.15 %.

Les bétons B3 et B5 de compositions granulaires et dosages en ciment identiques présentent à peu près les mêmes performances mécaniques à 28 jours.

Ceci nous permet de dire que l'utilisation de 0.5 % d'adjuvant réducteur d'eau BV 40 est équivalente à l'utilisation de 1.5 % d'adjuvant plastiretard G3.

Béton B6 :

Pour la confection du béton **B6** nous avons jugé utile de reprendre, dans un but purement pratique, les bétons sans adjuvants. L'utilisation de l'adjuvant étant encore limitée dans nos chantiers.

Cette manière de faire est motivée, comme il a été mentionné précédemment, par la recherche de l'amélioration des bétons d'usage courant et par le désir d'être le plus proche des conditions pratiques de réalisation.

A cet effet et au vu de l'apport bénéfique du gravier 3/8 sur les résistances observées à 28 jours, notamment sur les bétons **B1** et **B2**, nous avons donc repris les mêmes compositions granulométrique que pour les bétons de **B1** à **B5** (c'est à dire toujours le deuxième type de béton «**B**») mais sans adjuvants. Le dosage en ciment est ici de 400 Kg/m³ de béton.

La composition du béton **B6** est donnée au tableau IV-17.

Au tableau IV-18 sont regroupés les valeurs numériques des essais d'écrasement.

Tableau IV-17 : Composition du béton B6.

Sable fin (Chlef) (Kg)	Gravier 3/8 (Kg)	Gravier 8/15 (Kg)	Gravier 15/25 (Kg)	Ciment (Kg)	E/C	Affaissement (cm)
491	231	308	886	400	0.55	9-10

Tableau IV-18 : Résultats d'écrasement du béton B6.

Age d'essai et Ambiances de cure	3 jours		7 jours		28 jours	
	EAU	AIR	EAU	AIR	EAU	AIR
Contraintes de rupture (MPa)	21.8	20.6	27.8	23.8	31.8	27.2
	23.0	19.6	27.0	23.1	32.2	27.4
	21.1	21.1	27.4	23.6	32.6	28.0

Sur la figure IV-14 est reproduite la courbe d'évolution de la résistance du béton B6 comparée à celle des bétons B1 et B2.

Nous rappelons que les rapports E/C pour les bétons B1 et B2 sont respectivement de 0.55 et 0.68.

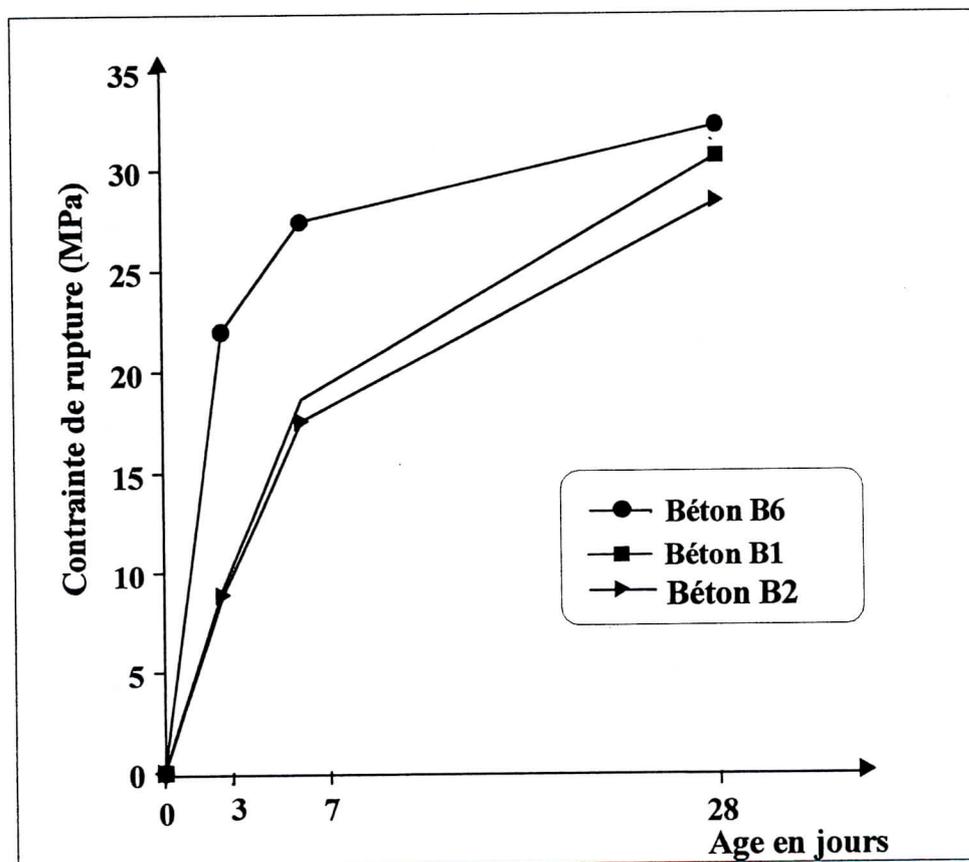


Figure IV-14 : Evolution de la résistance à la compression des bétons B1, B2 et B6.

On peut remarquer que le béton **B6** offre de meilleurs résultats par rapport au béton **B1** lequel est caractérisé par un affaissement de 5 à 6 cm. Ce résultat confirme bien ce qui est énoncé au paragraphe **II-2-3-2** concernant l'influence du dosage en ciment sur les performances du béton.

Une amélioration de la résistance d'environ 13.4 % à l'âge de 28 jours est constatée avec le béton **B6** par rapport au béton **B2** dont l'affaissement est de 11 à 12 cm et $E/C \approx 0.68$. Ceci est bien évidemment dû à un plus faible rapport E/C (0.55 au lieu de 0.68) et éventuellement à l'augmentation du dosage en ciment.

IV-7-3 Béton type C :

Le béton de type **C** est obtenu en substituant le gravier intermédiaire 3/8 et le sable fin de Chlef par le sable concassé provenant de la carrière de Keddara. Le module de finesse de ce dernier sable est égal à 2.7

L'idée de remplacer ces deux agrégats par ce sable grossier découle des observations faites lors de la confection des bétons **B1** et **B2** qui ont montré une certaine amélioration de la résistance par rapport aux bétons **A2** et **A3**.

Cette amélioration a été expliquée par l'apport appréciable dû à l'adjonction du gravier 3/8.

Du point de vue gros agrégats, ce béton (type **C**) est le même que le béton **A2**. Seul le sable fin a été substitué par le sable grossier.

La composition de ce nouveau béton (type **C**) est donnée au tableau **IV-19**. Au tableau **IV-20** sont regroupés les résultats obtenus.

Remarque :

Nous avons remarqué pour cette composition granulaire que le pourcentage en volume absolu de sable dans ce béton est passé de 34 % à 36 % remplaçant ainsi la diminution de 1 % pour chacun des deux graviers 8/15 et 15/25.

Tableau IV-19 : Composition du béton type C.

Sable gros (Keddara) (Kg)	Gravier 8/15 (Kg)	Gravier 15/25 (Kg)	Ciment (Kg)	E/C	Affaissement (cm)
644	347	820	350	0.55	9-10

Tableau IV-20 : Résultats d'écrasement du béton type C.

Age d'essai et Ambiances de cure	3 jours		7 jours		28 jours	
	EAU	AIR	EAU	AIR	EAU	AIR
Contraintes de rupture (MPa)	21.6	18.7	27.9	23.7	32.2	28.2
	21.0	17.9	27.1	23.1	32.4	27.8
	21.4	18.1	28.1	23.9	31.8	27.6

La figure IV-15 montre l'évolution de la résistance du béton type C comparée à celle du béton A2.

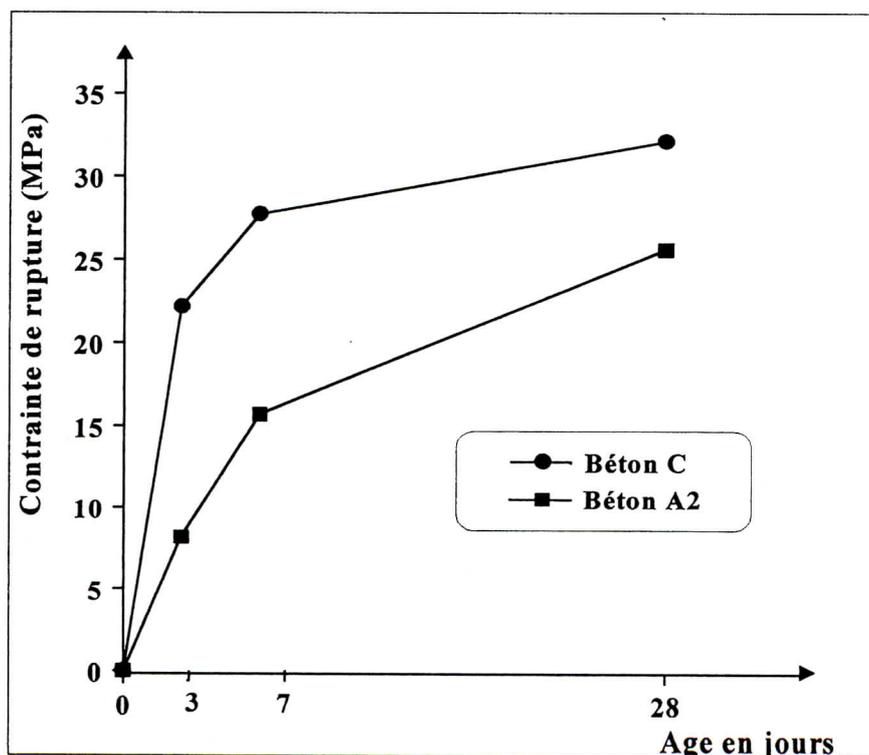


Figure IV-15 : Evolution de la résistance à la compression des bétons A2 et C.

Il est aisé de voir que dès l'âge de 3 jours (σ 3 jours moyenne ≈ 21 MPa). Les résultats pour ce béton vont être nettement meilleurs que ceux du béton A2 (σ 3 jours moyenne ≈ 8 MPa) dont le dosage en ciment et la teneur en eau sont identiques.

On peut déduire à partir de l'affaissement au cône qui est de 9 à 10 cm pour ce béton (type C) contre seulement 5 à 6 cm pour le béton A2 que l'utilisation du sable grossier est préférable par rapport au sable fin car le premier offre des possibilités de mise en œuvre meilleures que le second.

Pour atteindre l'affaissement du béton C avec le sable fin il faut une quantité d'eau supplémentaire. Mais il est bien connu que l'accroissement de la teneur en eau ne conduit pas toujours à une augmentation de résistances.

Les résultats obtenus à 28 jours sont très satisfaisants par rapport aux résultats projetés et sont comparables aux bétons B3, B4 et B5 qui sont des bétons utilisant des adjuvants. Dans la suite de notre travail nous avons cherché à montrer le rôle prépondérant qu'il faut accorder à la nature du sable.

IV-7-4 Béton type D :

Pour le béton type D, nous avons repris la composition du béton type C à laquelle nous avons adjoint le gravier 3/8 et ce compte tenu de l'amélioration observée sur les bétons du type B par rapport aux bétons type A après l'adjonction du gravier 3/8 à ces derniers.

Comme le montre le tableau IV-21 donnant la composition de ce béton (type D) nous aurons au moins la quantité de sable qui va diminuer par rapport au béton type C du fait de la présence du gravier 3/8 et par conséquent une diminution de la teneur en eau qui ne peut être qu'un avantage.

Nous présentons les résultats numériques obtenus avec le béton type D au tableau IV-22.

Tableau IV-21 : Composition du béton type D.

Sable gros (Keddara) (Kg)	Gravier 3/8 (Kg)	Gravier 8/15 (Kg)	Gravier 15/25 (Kg)	Ciment (Kg)	E/C	Affaissement (cm)
519	201	292	802	350	0.54	9-10

Tableau IV-22 : Résultats d'écrasement du béton type D.

Age d'essai et Ambiances de cure	3 jours		7 jours		28 jours	
	EAU	AIR	EAU	AIR	EAU	AIR
Contraintes de rupture (MPa)	18.2	17.2	23.0	22.0	30.1	27.0
	18.0	16.5	22.8	22.2	30.0	26.7
	17.1	16.9	22.4	21.1	28.9	25.9

La figure IV-16 montre l'évolution de la résistance du béton type D comparée à celle du béton type C de rapport E/C et d'affaissement identique.

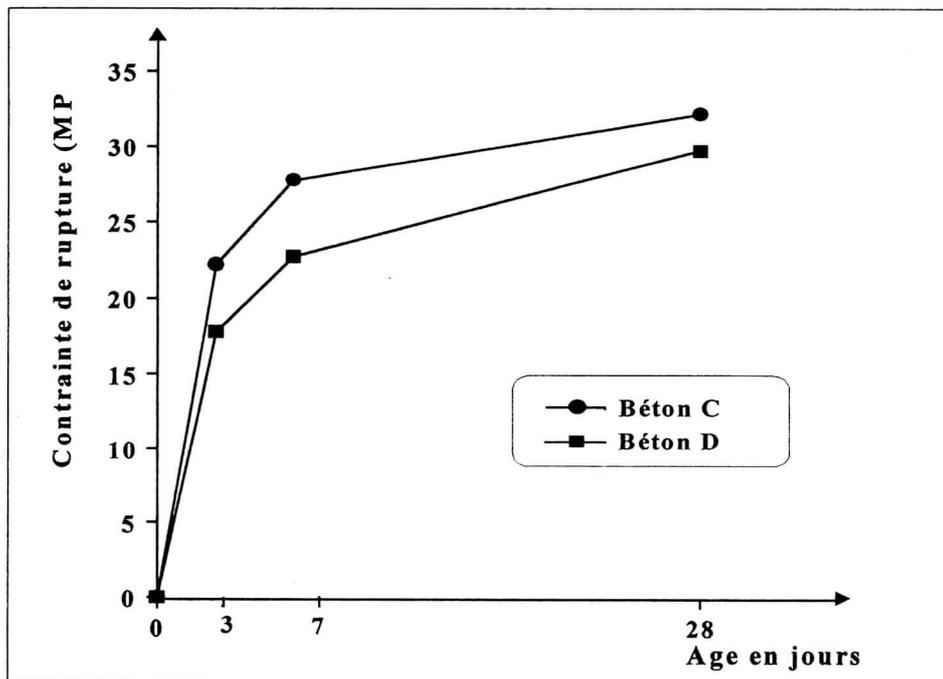


Figure IV-16 : Evolution de la résistance à la compression des bétons C et D.

On peut remarquer que, à toutes les échéances, les performances de ce béton restent toujours plus faibles par rapport à celle du béton type C.

La résistance à la compression à 28 jours d'âge présente une diminution estimée à environ 7 % par rapport à celle du béton type C.

Quel est le problème ?

Il nous semble que l'élimination du sable fin de Chlef d'une part et la réduction de la quantité du sable de carrière au profit du gravier 3/8 en est la cause. En effet nous avons remarqué dès la préparation de la coulée de ce béton qu'il y avait un problème de manque de mortier pour un enrobage suffisant des gros grains de graviers.

Ce béton type D manque de sable fin et moyen et peut conduire vraisemblablement à un béton de moindre compacité et par conséquent à une résistance moindre.

IV-7-5 Béton type E :

Compte tenu des insuffisances observées sur le béton type D, nous avons cherché à améliorer la granulométrie du sable. Nous avons donc été conduit à composer un sable avec les deux sables dont nous disposions.

Sur la base des conclusions du paragraphe 2-2-2-3 du chapitre II concernant l'influence du module de finesse sur les résistances du béton selon [15], (un bon sable donnant les meilleurs résultats dans le béton est celui dont le module de finesse est proche de 2.5), nous nous sommes fixé la valeur de 2.5 pour le module de finesse du mélange de sable que nous voulons essayer.

Pour un module de finesse de sable corrigé fixé à $M.f = 2.5$, les proportions des deux sables à mélanger s'obtiennent aisément par les relations suivantes :

$$\text{Proportion du sable } S_2 = \frac{M.f_1 - M.f}{M.f_1 - M.f_2} ; \text{ Proportion du sable } S_1 = \frac{M.f - M.f_2}{M.f_1 - M.f_2} \quad [15].$$

Dans notre cas les sables à mélanger sont :

- le sable fin de Chlef de module de finesse $M.f 1 = 1.98$,
- le sable de la carrière de Keddara de module de finesse $M.f 2 = 2.7$.

Les proportions à mélanger sont dans ce cas respectivement 28 % et 72%.

La composition du béton type E, utilisant le sable corrigé, est donnée tableau IV-23. Le tableau IV-24 donne les résultats d'essai.

Tableau IV-23 : Composition du béton type E.

Sable fin (Chlef) (Kg)	Sable gros (Keddara) (Kg)	Gravier 8/15 - (Kg)	Gravier 15/25 (Kg)	Ciment (Kg)	E/C	Affaissement (cm)
185	482	369	850	350	0.55	9-10

Tableau IV-24 : Résultats d'écrasement du béton type E.

Age d'essai et Ambiances de cure	3 jours		7 jours		28 jours	
	EAU	AIR	EAU	AIR	EAU	AIR
Contraintes de rupture (MPa)	21.8	19.2	31.6	25.1	34.6	29.3
	20.7	18.7	30.5	24.0	33.8	28.7
	21.0	19.0	30.1	24.6	34.1	29.3

De très bons résultats ont été obtenus, tant pour le béton conservé dans l'eau, et que nous avons toujours considéré comme béton témoin, que pour le béton conservé dans l'ambiance de laboratoire.

La figure IV-17 illustre l'évolution de la résistance à la compression de ce béton type E comparée à celle des bétons A3 (mêmes graviers et sable fin avec $E/C \approx 0.68$), et le béton type C (mêmes graviers et sable de carrière avec $E/C \approx 0.55$).

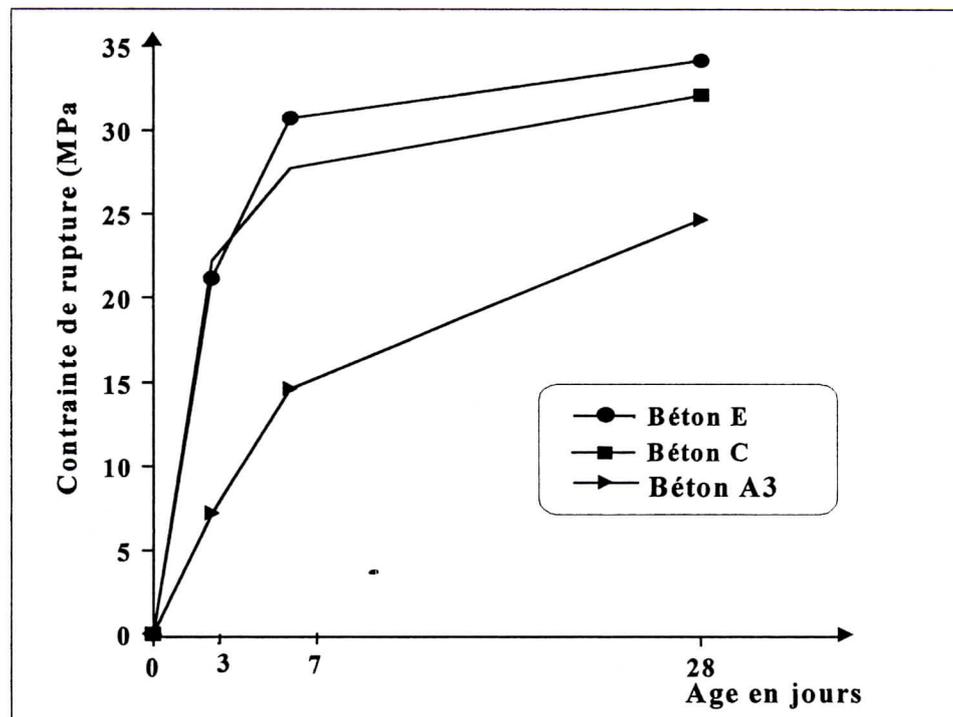


Figure IV-17 : Evolution de la résistance à la compression des bétons A3, C et E.

Ce béton est caractérisé par un affaissement au cône d'Abrams de 9 à 10 cm et un rapport E/C d'environ 0.55.

Dès l'âge de 3 jours les résultats obtenus paraissent très satisfaisants puisqu'ils étaient comparables à ceux du béton adjuvanté (type **B4**), à ceux du béton dosé à 400 Kg de ciment par mètre cube de béton (type **B6**) ou encore au béton type C.

A l'âge de 7 jours, les résultats obtenus dépassent tous les résultats obtenus jusque là y compris le béton type **B4** de faible teneur en eau ($E/C = 0.48$) ou encore le béton **B6** dosé à 400 Kg de ciment.

On remarque qu'à 28 jours les résultats obtenus avec ce sable corrigé restent toujours intéressants par rapport aux résultats précédemment obtenus.

On peut dire à ce niveau de la recherche que les mauvais résultats obtenus au début de ce travail sont étroitement liés à la mauvaise granulométrie du sable.

IV-7-6 Béton type F :

Nous nous sommes fixé comme objectif de confectionner un béton de forte compacité par l'introduction de tous les diamètres possibles d'agrégats et réduire ainsi au maximum les vides qui, par absence de grains convenables, seront remplis par le mortier de ciment.

La composition de ce dernier béton est donnée au tableau IV-25 et les résultats obtenus pour ce même béton sont réunis dans le tableau IV-26.

Tableau IV-25 : Composition du béton type F.

Sable fin (Chlef) (Kg)	Sable gros (Keddara) (Kg)	Gravier 3/8 (Kg)	Gravier 8/15 (Kg)	Gravier 15/25 (Kg)	Ciment (Kg)	E/C	Affaissement (cm)
137	469	201	292	802	350	0.55	9-10

Tableau IV-26 : Résultats d'écrasement du béton type F.

Age d'essai et Ambiances de cure	3 jours		7 jours		28 jours	
	EAU	AIR	EAU	AIR	EAU	AIR
Contraintes de rupture (MPa)	23.3	20.7	28.7	23.4	33.8	29.8
	23.0	21.0	28.0	23.0	33.0	29.0
	22.8	21.0	27.2	24.0	34.0	27.0

Dès l'étude de la composition granulométrique de ce béton type F nous avons remarqué que par rapport au béton précédent (type E : gravier 8/15, 15/25 et sable corrigé) il y a un recul de 61 Kg de sable et un apport supplémentaire de 76 Kg de gravier par mètre cube de béton.

Ceci pouvait-il apporter quelque chose ?

L'évolution de la résistance à la compression de ce béton F est illustrée sur la figure IV-18. Nous donnons aussi à titre comparatif sur la même figure les courbes d'accroissement de résistances du béton type D pour montrer l'apport du sable corrigé ($M_f = 2.5$) aux trois graviers utilisés jusque là et celle du béton type E pour montrer l'apport du gravier intermédiaire 3/8 aux graviers de base 8/15 et 15/25 et au mélange de sable.

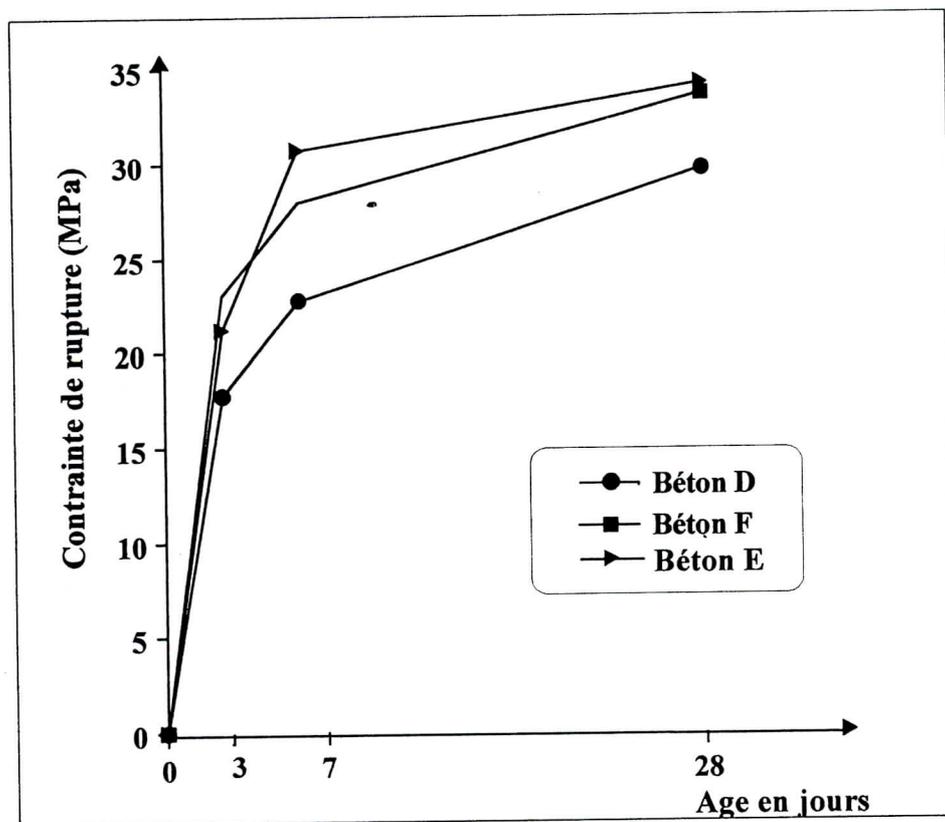


Figure IV-18 : Evolution de la résistance à la compression des bétons D, E et F.

Ce béton de composition la plus variée parmi tous ceux étudiés présente une bonne ouvrabilité de par son affaissement caractérisé par le slump test (9-10 cm pour un rapport $E/C = 0.55$).

Dans le tableau IV-27 nous donnons les compositions de tous les bétons étudiés au cours de notre travail.

Tableau IV-27 : Tableau de compositions des bétons étudiés.

Composants BETONS	Graviers (Kg/m3)			Sables (Kg/m3)		Ciment (Kg/m3)	Eau (l/m3)	Adjuvants (%/ciment)	E/C	Affais- sement. (cm) (≈)
	3/8	8/15	15/25	S1 Chlef	S2 Keddara					
A1	/	385	886	642	/	350 *	238	/	0.68	11-12
A2	/	385	886	642	/	350	193	/	0.55	5 - 6
A3	/	385	886	642	/	350	238	/	0.68	11-12
B1	231	308	886	491	/	350	192	/	0.55	5 - 6
B2	231	308	886	491	/	350	238	/	0.68	11-12
B3	231	308	886	491	/	350	179	0.5 % BV40	0.51	7 - 8
B4	231	308	886	491	/	350	168	1.5% G3	0.48	5 - 6
B5	231	308	886	491	/	350	180	1.5% G3	0.51	7 - 8
B6	231	308	886	491	/	400	230	/	0.55	9-10
C	/	347	820	/	644	350	192	/	0.55	9-10
D	201	292	802	/	519	350	192	/	0.54	9-10
E	/	369	850	185	482	350	193	/	0.55	9-10
F	201	292	802	137	469	350	194	/	0.55	9-10

* Ciment exposé à l'air libre.

Le tableau IV-28 suivant rassemble les résultats d'écrasement des éprouvettes des différents types de bétons étudiés.

Tableau IV-28 : Résultats d'écrasement des éprouvettes des différents types de béton étudiés.

Contraintes BETONS	$\sigma'_{3\text{jours}}$ (MPa)		$\sigma'_{7\text{jours}}$ (MPa)		$\sigma'_{28\text{jours}}$ (MPa)	
	Ambiance de cure		Ambiance de cure		Ambiance de cure	
	EAU	AIR	EAU	AIR	EAU	AIR
A1	4.4	4.6	10.0	9.7	18.0	15.3
	4.8	4.4	11.0	10.4	17.7	15.6
	4.6	4.7	10.8	10.0	18.0	16.0
A2	7.9	7.9	15.1	15.0	25.6	21.0
	8.4	8.6	16.5	15.5	25.3	21.6
	8.2	8.2	15.5	15.0	26.0	21.2
A3	7.2	7.3	15.0	14.0	25.0	19.6
	7.5	7.0	14.8	14.4	24.6	20.1
	7.0	7.5	14.1	14.0	24.3	20.1
B1	8.7	8.5	18.1	19.0	29.6	26.0
	9.0	8.8	19.1	17.9	31.6	27.0
	10.1	9.1	18.7	18.0	30.7	25.6
B2	9.4	8.0	17.1	17.0	28.8	26.7
	8.6	8.3	18.0	16.5	28.0	26.4
	8.6	9.0	17.6	17.1	28.4	26.3
B3	14.2	14.1	17.8	19.9	29.4	25.6
	14.4	14.3	19.4	22.8	31.0	27.3
	15.0	14.3	18.3	21.4	30.6	26.2
B4	21.8	18.5	27.8	23.1	35.6	29.6
	21.0	17.9	26.9	22.7	34.5	28.7
	21.2	18.1	27.1	23.0	35.1	30.0

Suite du tableau IV-28 page suivante.

Suite du tableau IV- 28 regroupant les résultats d'écrasement des éprouvettes des différents types de bétons étudiés :

Contraintes Bétons	$\sigma'_{3\text{jours}}$ (MPa)		$\sigma'_{7\text{jours}}$ (MPa)		$\sigma'_{3\text{jours}}$ (MPa)	
	Ambiance de cure		Ambiance de cure		Ambiance de cure	
	EAU	AIR	EAU	AIR	EAU	AIR
B5	18.0	16.1	24.0	21.0	31.5	27.0
	18.1	17.0	24.2	20.0	32.0	27.2
	17.6	17.0	23.8	20.8	31.0	26.0
B6	21.8	20.6	27.8	23.8	31.8	27.2
	23.0	19.6	27.0	23.1	32.2	27.4
	21.1	21.1	27.4	24.6	32.6	28.0
C	21.6	18.7	27.9	23.7	32.2	28.2
	21.0	17.9	27.1	23.1	32.4	27.8
	21.4	18.1	28.1	23.9	31.8	27.6
D	18.2	17.2	23.0	22.0	30.1	27.0
	18.0	16.5	22.8	20.2	30.0	26.7
	17.1	16.9	22.4	21.1	28.9	25.9
E	21.8	19.2	31.6	25.1	34.6	29.3
	21.0	18.7	30.5	24.0	33.8	28.7
	20.7	19.0	30.1	24.6	34.1	29.3
F	23.3	20.7	28.7	23.4	33.8	29.8
	23.0	21.0	28.0	23.0	33.0	29.0
	22.8	21.0	27.2	24.0	34.0	27.0

IV-9 DISCUSSION :

Un premier aperçu sur les résultats obtenus avec les différents types de bétons étudiés nous permet (sans rentrer dans les détails des compositions) de procéder à un premier classement des bétons et ce par ordre décroissant des moyennes des contraintes de rupture en compression obtenues après 28 jours d'âge pour les éprouvettes de béton conservées dans l'eau seulement.

Les résultats de ce classement sont réunis au niveau du tableau IV-29 et ce par ordre décroissant des moyennes déjà définies. Dans ce même tableau et en vue de faciliter la comparaison et aussi les interprétations nous donnons les matériaux composants les bétons considérés, les teneurs en eau et les affaissements correspondants. Nous faisons aussi figurer la présence ou non d'adjuvant.

Tableau IV-29 : Classement par ordre décroissant des performances des bétons étudiés et es types de matériaux desquels sont composés ces bétons.

N° du BETON	B4	E	F	B6	C	B5	B1	B3	D	B2	A2	A3	A1
σ'_{28} moyenne. (MPa)	35.0	34.1	33.6	32.2	32.1	31.5	30.6	30.3	29.6	28.4	25.6	24.6	17.9
S1 (Chlef)	X	X	X	X		X	X	X		X	X	X	X
S2 (Keddara)		X	X		X				X				
Gravier 3/8	X		X	X		X	X	X	X	X			
Gravier 8/15	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Gravier 15/25	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Ciment	350	350	350	400	350	350	350	350	350	350	350	350	350*
E/C	0.48	0.55	0.55	0.55	0.55	0.51	0.55	0.51	0.54	0.68	0.55	0.68	0.68
Affaissement	5-6	9-10	9-10	9-10	9-10	7-8	5-6	7-8	9-10	11-12	5-6	11-12	11-12
B.V 40								X					
G 3	X					X							

Nous pensons que les résultats ont été largement commentés au cours de l'exposé, le tableau IV-29 permet seulement une comparaison rapide faisant intervenir l'ensemble des paramètres les plus influents.

On peut se rendre compte de l'influence primordiale du squelette granulaire, facteur qui à été mis en évidence par cette étude non exhaustive des possibilités d'amélioration des performances des bétons produits en Algérie.

De l'examen de ce tableau il nous paraît que les bétons les mieux adaptés et les plus recommandés, compte tenu des conditions de travail et de réalisation de nos chantiers, sont, par ordre préférentiel, le béton type E, le béton type F ensuite le béton type C.

Cette étude a mis en évidence le rôle prépondérant des sables et a montrer qu'il est désormais possible d'obtenir des bétons performants sans l'apport d'adjuvants.

CONCLUSION

&

RECOMMENDATIONS.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

1 CONCLUSION :

La synthèse bibliographique que nous avons proposée au niveau du chapitre deux nous a montré le grand nombre de facteurs qui peuvent influencer sur la qualité du béton. Sur la base de cette synthèse bibliographique et des observations du chapitre trois, qui l'a suivi, nous nous sommes donc proposés de diriger notre travail qui consiste alors de faire varier certains de ces facteurs essentiels qui influent sur la qualité du béton jusqu'à obtention d'un béton de bonne qualité vis-à-vis des performances mécaniques.

Au vu des constatations présentées dans le chapitre trois, il ressort qu'il y a insuffisance remarquable de performances mécaniques du béton dans les régions considérées et il n'est pas exclu que ceci concerne les autres régions de l'Algérie.

Nous avons remarqué que la résistance caractéristique des bétons dans les régions considérées n'atteint jamais celle préconisée et considérée par les bureaux d'études en Algérie laquelle est fixée à environ 27 MPa pour le calcul des éléments de structures en béton armé.

La raison du choix de la résistance comme critère de qualité du béton est motivé par la simplicité de la mesure de ce critère par rapport, à titre d'exemple, à la caractérisation de la durabilité ou autre et que, aussi, le constat ne porte que sur les résultats mécaniques.

Le choix de ce critère est donc retenu parce que la mesure d'une résistance est une manipulation parfaitement appréhendée en génie civil et de plus elle est très fiable.

Dans l'étude et la recherche du béton qui devait répondre à notre exigence (Contrainte caractéristique au moins égale à 27 MPa), nous nous sommes d'abord intéressé aux compositions granulométrique et ce par la recherche de courbes granulaires continues en introduisant un troisième gravier intermédiaire 3/8, généralement abandonné par grand nombre de nos entreprises, lequel a donné de bons résultats (béton type **B**), par rapport au béton traditionnel ternaire à gravier 8/15 et 15/25 seulement.

Nous avons ensuite eu à combiner deux sables (un sable fin d'oued de provenance de Chlef ayant un module de finesse égal à **1.98**, et un sable grossier concassé de la carrière Keddara ayant un module de finesse égal à **2.7**). Le module de finesse que nous avons visé est celui ayant fait l'objet de recommandation dans la synthèse bibliographique et est fixé à **2.5**. Ce béton type **E** s'est avéré des meilleurs bétons que nous avons eus à confectionner de tout point de vue (contrainte de rupture à 28 jours égale à environ 34 MPa avec un affaissement au cône égal à environ 9-10 cm). Nous notons ici que cet affaissement recherché est celui qui est le plus souvent observé dans les chantiers pour une mise en œuvre facile.

Le résultat obtenu avec ce béton type **E** montre tout l'intérêt qu'il faut accorder aux sables dans la confection des bétons.

De l'utilisation des deux types d'adjuvants, (le Plastiment BV 40 et le plastiretard G3), nous avons constaté qu'il était désormais possible d'obtenir des résultats similaires sans l'adjonction d'adjuvants à condition de veiller à la composition granulométrique en recherchant la composition granulaire la plus continue que possible. L'emploi des adjuvants étant encore limité dans nos chantiers d'une part et les risques d'avoir des effets inverses est envisageable.

Les performances du béton exigées par les calculs peuvent aussi être obtenus en jouant sur les dosages en ciment tel que montré avec le béton **B6** (à dosage en ciment de 400 Kg/m³ et un affaissement au cône de 9 à 10 cm).

Cette manière de faire, si elle semble peu économique, a pu permettre d'avoir des performances intéressantes (contrainte de rupture à 28 jours d'environ 32 MPa) et permet donc d'optimiser la projection et la conception des éléments de structure et d'éviter par ailleurs les surdimensionnements tels que l'on peut aisément constater sur la plupart des ouvrages édifiés probablement pour éviter que les contraintes ne soient pas vérifiées à l'état limite de service.

Il nous a été permis de remarquer d'autre part que le milieu de cure est d'une importance primordiale dans la recherche de bétons de performances mécaniques importantes (il suffit de comparer les résultats obtenus pour les bétons conservés dans l'eau et ceux conservés à l'air libre au sein du laboratoire). Il serait donc intéressant de se pencher sur ce problème et rechercher les meilleurs délais de conservation des bétons dans leurs coffrages, ce qui pourrait conduire à de bons résultats.

Cela étant, et au vu des résultats que nous avons obtenus sur l'ensemble des bétons confectionnés, il nous semble pouvoir dire que l'un des facteurs essentiels dans la confection des bétons est le sable. Les meilleurs bétons que nous avons obtenus dans notre étude expérimentale (béton type E et type F) utilisent un sable mélangé de module de finesse égal à 2.5. Ces derniers sont comparables aux bétons adjuvantés et au béton dosé à 400Kg/m³ (exemple du béton B6).

2 RECOMMANDATIONS :

Sur la base des recommandations tirées de la partie bibliographique, des observations et de l'analyse des résultats obtenus sur la qualité du béton dans la région centre puis l'Est et l'Ouest, des constatations directement faites au niveau de l'entreprise où nous avons eu à réaliser notre travail (E.C.B de BENI-MERED) et enfin sur la base de notre expérience personnelle acquise dans le cadre du suivi et de la réalisation avec différentes entreprises nationales (privées ou étatiques) ou étrangères (Dragage de France, Baxter fill International d'Angleterre) nous présentons dans ce qui suit, par famille, quelques recommandations que nous avons jugées utiles pour l'obtention d'un béton que nous avons dénommé de bonne qualité.

2-1 Conditions primordiales :

- 1- Rechercher la qualification du personnel produisant le béton ;
- 2- Sensibilisation de ce même personnel sur les risques réels d'une mauvaise qualité du béton sur la vie des occupants.
- 3- Rechercher le maximum de coordination entre l'équipe de conception des compositions de bétons, l'équipe qui produit le béton au niveau des centrales et les équipes qui mettent en œuvre le béton dans ses moules. Cette question est d'une grande importance puisque ces dernières équipes peuvent apporter des corrections, surtout l'ajout d'eau, qu'elles jugent nécessaires au béton produit en cas de problèmes rencontrés durant la mise en place de ce dernier dans les coffrages.

2-2 facteurs intrinsèques :

- 1- Choix de d'agrégats propres sinon procéder au lavage de ces derniers ;
- 2- Veillez à un stockage correct du ciment (faire attention quant au ciment longuement stocké surtout en milieu humide);

- 3- Une attention particulière doit être accordée au stockage des graviers et sables qui, en général, est négligée et peut engendrer des problèmes très importants quant au dosage en eau dans le calcul d'une composition de béton. (Un sable très humide peut contenir 80 à 100 litres d'eau par mètre cube en volume apparent selon [3] qui doit être prise en compte dans les calculs d'une composition) ;
- 4- Un gravier ou un sable longuement exposé au soleil pose lui aussi un problème de dosage en eau lequel peut fausser la teneur en eau avec tout ce que cette dernière peut engendrer comme dégradation de la qualité du béton ;
- 5- Il faut essayer d'utiliser des granulométries continues lesquelles peuvent donner des bétons à des teneurs en eau plus faibles par rapport à des bétons de granulométries discontinues pour une même ouvrabilité (rechercher des sables de module de finesse voisin de 2.5 en mélangeant deux ou plusieurs sables et enrichir le squelette du béton avec un gravier intermédiaire comme nous l'avons fait dans notre travail ;
- 6- L'eau est facteur non négligeable : respecter le dosage en eau recommandé et utiliser une eau propre répondant aux recommandations (contrôle de la teneur en sels) ;
- 7- Il faut renouveler l'étude de la composition du béton à chaque nouveau approvisionnement en matériau et veiller à son strict respect ;
- 8- L'emploi d'adjuvants en cas de besoin est plus recommandé que l'ajout d'eau en chantier pour faciliter la mise en œuvre (l'emploi des adjuvants est encore limité dans nos chantiers);

2-3 Facteurs de mise en œuvre :

- 1- Respecter intégralement, dans les centrales à béton ou dans les chantiers, les compositions étudiées aux laboratoires et faire appel continuellement aux responsables de ces laboratoires en cas de problème rencontrés dans la mise en œuvre du béton en évitant toute modification in situ dans la composition des bétons proposés ;
- 2- Éviter les longs trajets pour le béton et installer des moyens de fabrication de ce dernier à côté du projet à réaliser (les entreprises possédant des centrales à béton dans une région évitent dans la plupart du temps d'investir dans l'installation de nouvelles unités de fabrication) ;
- 3- Un problème essentiel est rencontré dans les chantiers : c'est la mise en place qui nécessite les moyens et les efforts de vibration. Ces efforts sont vite épargnés par l'ajout d'eau qui améliore l'ouvrabilité au détriment de la résistance. Il faut éviter cette mauvaise alternative ;

2-4 Facteurs d'ambiances et de conservations :

- 1- Il faut limiter la température des matériels surtout dans les zones et les périodes chaudes (les endroits à l'ombre et la peinture blanche des matériels présentent cet avantage) ;
- 2- Limiter l'évaporation du béton non coffré en cours de prise en bétonnant au petit jour ou pendant la nuit ;
- 3- Recourir à des revêtements en plastique ou en toile de jute maintenus humides ;
- 4- Limiter les volumes transportés de béton et réduire les temps d'attente et de malaxage en cours de route.

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] - **M. VENUAT** : La pratique des ciments et des bétons. Edition du Moniteur des travaux publics et du bâtiment, Paris, 1976.
- [2] - **G. DREUX** : Béton hydraulique-Composition des bétons. Techniques de l'ingénieur 5-1982, Traité construction, C 2 220.
- [3] - **G. DREUX** : Nouveau guide du béton. 3° Edition Eyrolles, Paris, 1981.
- [4] - Durabilité du béton. Fiches techniques CIMBETON DB1, Définitions et facteurs influents de la durabilité, Centre d'Information de l'industrie Cimentière Paris, Edition Conseils 30/90.
- [5] - **P. ACKER** : Prise et durcissement des bétons – Les effets thermomécaniques. Techniques de l'ingénieur 2-1998, Traité construction, C 2 235.
- [6] - **P. ACKER, M. ADAM, M. MAMILLAN, J. SAULNIER** : Béton hydraulique-Caractères du béton. Techniques de l'ingénieur 11-1986, Traité construction, C 2 240.
- [7] - **J. BARON, R. SAUTEREY** : Le béton hydraulique-connaissance et pratique. Presse de l'Ecole Nationale des ponts et Chaussées, Paris, 1982.
- [8] - **M. ADAM, J. BENSIMHON, G. COQUILLAT, G. DREUX, J.F. FERRIOT, F. GORISSE, R. LESAGE, A-M. PAILLERE, P.TERRIER, M.VENUAT** : Béton hydraulique-Variétés des bétons et constituants. Techniques de l'ingénieur 8-1984, Traité construction, C 2 210.
- [9] - **R. LACROIX** : Béton hydraulique-Béton à haute résistance. Techniques de l'ingénieur 11-1986, Traité construction, C 2 212.
- [10] - **E. OLIVIER** : Matériaux de construction. Entreprise Moderne d'Edition, 6° Edition actualisée 1978.
- [11] - **J. J. BROUKS et A.M. NEVILLE** : Concrete technology. Longman scientific and technical, London 1987.
- [12] - **A. BRAHMA** : Le Béton. Office des Publications Universitaires, 10-1992.

- [13] - **T. NAADIA** : La qualité du béton dans les chantiers de construction. Thèse de magister, Institut de Génie Civil de l'Université de Blida, Septembre 1996.
- [14] - **F. GORISSE** : Essais et contrôle des bétons. Edition Eyrolles, 1978.
- [15] - **G. DREUX** et **F. GORISSE** : Contribution à l'étude de la finesse des sables sur diverses qualités du béton. Annales I.T.B.T.P. N° 261, Septembre 1969.
- [16] - **H.C. ENTROY, R.E FRANKLIN** et **D.C. TEYCHENNE** : Design of normal concrete mixes. University of Glasgow, Dpt of Civil-engineering, England.
- [17] : **K. NASRI** : Etude sur la qualité des bétons dans le sud (Algérie). Proceeding du séminaire international sur la qualité du béton en climat chaud, mars 1994.
- [18] - **P. CORMON** : Béton hydraulique-Fabrication et transport. Techniques de l'ingénieur 5-1982, Traité de construction, C 2 225.
- [19] : **M. VENUAT** : Les adjuvants des bétons. Revue des matériaux N° 626-627, Novembre-Décembre 1967.
- [20] - Applications du béton. Fiches techniques CIMBETON AB4, Les bétons spéciaux, Centre d'Information de l'Industrie Cimentière Paris, Edition Conseils 25/90.
- [21] - **N. KEDJOUR** : Propriétés et pathologie du béton. Office des Publications Universitaires, 10-1991.
- [22] - **M. ADAM** : Béton hydraulique-Durabilité et pathologie du béton. Techniques de l'ingénieur 5-1990, Traité de construction, C 2 250.
- [23] - **A.M. NEVILLE** : Properties of Concrete. 3° Edition, Edition Pitman, England 1982.
- [24] - **D.T.R BE** , Document technique réglementaire. Règles d'exécution des travaux de construction d'ouvrage en béton armé: C.G.S 1991.
- [25] - **J.M GEOFFRAY** : Béton hydraulique-Mise en œuvre. Techniques de l'ingénieur 5-1996, Traité de construction, C 2 230.
- [26] - **G. BURG** : Slump loss, air loss and field performance of concrete, ACI journal, Technical paper N° 80-34, 1983.

[27] - A. CORNEILLE : L'eau et la cure du béton. Preceding du séminaire « Le béton et l'eau » organisé par le collège international des sciences de la construction. France, Juin 1985.

[28] - L. LACHEMAT et S. KENAI : Effet du type et de la durée de cure sur les propriétés du béton en climat chaud. Proceeding du séminaire international sur la qualité du béton en climat chaud, Mars 1994.

[29] - N. GOWRIPALAN, J.G. CABRERA, A.R. CUSENS et P.J. WAINWRIGHT : Effect of curing on durability, Concrete international, Février 1990.

[30] - M. MAMILLAN : Traitement thermique des bétons-Le béton hydraulique. Presse de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 1982.

[31] - P. ACKER : Effets thermiques dans les bétons en cours de fabrication et applications aux ouvrages d'art : de nouveaux outils, pour une optimisation simultanée du coût et de la qualité. Annales de l'ITBTP, n° 442 , série Béton 235, février 1986.

[32] - R. JAY et J. CAUMETTE : L'électricité dans le traitement thermique du béton. Revue technique du bâtiment, N° 86, Octobre 1981.

[33] - J. ALEXANDERSON : Strength losses in Heat Cured Concrete. Swedish Cement and Concrete Research Institute at the Royal Institute of technology. Stockholm, 1972.

[34] - M. MAMILLAN : Recherches expérimentales sur l'accélération du durcissement du béton par le chauffage. Annales I.T.B.T.P N° 267-268 Mars-Avril 1970.

[35] - B. COURTAULT : Influence de la température sur l'évolution thermique des pâtes de ciments (Appareillage et cas du silicate tricalcique). Ciments et bétons. Revue des matériaux N° 687 Mars-Avril 1974.

[36] - M. BOUKENDAKDJI et F. AIT-SAADI : Propriétés mécaniques du béton soumis à une cure étuvée. Proceeding du séminaire international sur la qualité du béton en climat chaud, Mars 1994.

[37] - M. VENUAT : Comment continuer à bétonner en période hivernale ? Le moniteur N° 7, Février 1978.

[38] - M. MAMILLAN : La Gélivité des matériaux. Annales I.T.B.T.P N° 235-236 Juillet-Aout 1967.

[39] - O. RIFAI : Les constructions en béton dans les pays Arabes. Série des bases technologiques. Centre des livres Educatifs. Edition Dar E-Rihani Beyrouth.

[40] - **Bulletin du C.T.C** : Contrôle du béton. Mars 1992.

[41] - **A.FERHOUL, C. FERNANI et A. KANOUNI** : Etude statistique et contrôle de la qualité des bétons dans la région centre (Alger, Blida, Tipaza). Thèse d'ingénieur, Institut de Génie Civil, Université de Blida, Octobre 96.

[42]- **M. LECHANI, N.E. HANNACHI, et N. YANTREN** : Contrôle de la qualité du béton " Cas de la wilaya de Tizi-Ouzou" Bulletin de l'Algérie équipement N° 18, 1995.

[43]- **A. LARIBI** : Pathologie et qualité des constructions dans l'Ouest Algérien, Etude statistique. Thèse de magister, Institut de Génie civil de l'Université de Blida, Avril 1999.

ANNEXES

ANNEXE 1

**METHODE
DE
DREUX ET GORISSE**

1-1 Principe de la méthode :

Le principe de cette méthode est basé sur la résistance et l'ouvrabilité désirée lesquelles conduisent à déterminer le dosage en ciment et le dosage en eau.

Une courbe de référence granulaire est ensuite tracée schématiquement en tenant compte des différents paramètres concernant le béton étudié et ses constituants : dimension des granulats, dosage en ciment, plasticité, intensité du serrage, module de finesse du sable, etc.

Cette courbe de référence permet de déterminer les proportions des différents granulats.

En fin, la prise en compte d'un coefficient de compacité probable du béton et de la masse volumique des différents granulats permet d'aboutir à la formule de dosage pondéral pour le béton désiré.

A noter qu'un ajustement de la teneur en eau par la mesure de l'ouvrabilité est toujours nécessaire.

1-2 Présentation de la méthode :

1-2-1 Dosage en ciment et en eau :

On commence par évaluer le rapport C/E en fonction de la résistance moyenne désirée σ'_{28} qui est liée à la résistance nominale σ'_n , que l'on fixera, par la formule suivante : $\sigma'_{28} = \sigma'_n + 15\%$ [12].

Nous avons fixé cette valeur de la résistance nominale à 27 MPa car c'est la valeur prise en compte dans les bureaux d'étude Algérien.

La résistance moyenne désirée est alors $\sigma'_{28} = 27 + 15\% \approx 31$ MPa.

Le rapport E/C est alors évalué par la formule inspirée des études de Bolomey suivante :

$$\sigma'_{28} = G' \cdot \sigma'_c \left(\frac{C}{E} - 0.5 \right) \quad [2].$$

- Avec :
- σ'_{28} (MPa) résistance moyenne désirée ;
 - G' coefficient granulaire (tableau 1-1) ;
 - σ'_c (MPa) classe de résistance vraie du ciment ;
 - C (kg/m³) dosage en ciment ;
 - E (litres/m³) dosage en eau totale.

La connaissance ou l'évaluation de σ'_{28} , G' et σ'_c permet de calculer la valeur de C/E .

Le dosage en eau E est déduit, directement si $D = 25$ mm, avec les corrections du tableau 1-2 si $D \neq 25$ mm.

1-2-2 Tracé de la courbe granulométrique de référence :

Cette courbe correspondant au mélange (sables + graviers mais ciment non compris) est tracée sur une feuille d'analyse granulométrique (papier semi-logarithmique). Celle-ci est composée de deux segments OA et AB avec brisure en A.

Son point de brisure a pour coordonnées :

- X qui est égal à la graduation $D/2$ si $D \leq 20$ mm, ou au milieu du segment graviers si $D \geq 20$ mm ; ce segment graviers se trouve sur l'abscisse, de 5mm à D .

$$\bullet Y = 50 - \sqrt{D} + K_S + K_P ;$$

Avec : K coefficient à choisir dans le tableau 1-3 ;

K_S coefficient tenant compte du module de finesse du sable M_f :

$$K_S = 6M_f - 15 ;$$

K_P coefficient de pompabilité pour le cas où le béton doit être de qualité pompable ; on peut prendre en général $K_P = +5$ à $+10\%$ [2].

Les valeurs approximatives du coefficient granulaire G' sont données dans le tableau suivant :

Tableau 1-1 : Valeurs approximatives du coefficient granulaire G' [2].

Qualité des granulats	Dimension D des granulats		
	Fins (D < 16mm)	Moyens (25 < D < 40mm)	Gros (D ≥ 50mm)
Excellente.....	0.55	0.60	0.65
Bonne, courante	0.45	0.50	0.55
Passable.....	0.35	0.40	0.45
Ces valeurs supposent que le serrage sera effectué dans de bonnes conditions (par vibration en principe).			

Le tableau 1-2 permet de procéder à la correction sur le dosage en eau si $D \neq 25\text{mm}$.

Tableau 1-2 : Correction sur le dosage en eau en fonction de la dimension maximale D des granulats (si $D \neq 25\text{ mm}$) [2].

Dimension maximale D des granulats.....(mm)	5	10	16	25	40	63	100
Correction sur le dosage en eau.....(%)	+ 15	+ 9	+ 4	0	- 4	- 8	- 12

Le tableau 1-3 de la page suivante donne les valeurs du coefficient K en fonction de la puissance de la vibration, de la forme des granulats (du sable en particulier) et du dosage en ciment.

Tableau 1-3 : Valeurs du coefficient K [2].

Vibration		Faible		Normale		Puissante	
Forme des granulats (du sable en particulier)		Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
Dosage	400+Fluidifiant	-2	0	-4	-2	-6	-4
	400	0	+2	-2	0	-4	-2
En	350	+2	+4	0	+2	-2	0
	300	+4	+6	+2	+4	0	+2
	250	+6	+8	+4	+6	+2	+4
Ciment (kg/m ³)	250	+6	+8	+4	+6	+2	+4
	200	+8	+10	+6	+8	+4	+6

1-2-3 Proportion des granulats :

Sur le même graphique, on trace les courbes granulaires des différents granulats à utiliser. Les droites joignant le point à 95 % (tamisat) d'un granulats au point à 5 % du granulats suivant (et ainsi de suite) sont appelés lignes de partage. Les points d'intersection des lignes de partage successives donnent en cumulés les pourcentages correspondants aux différents granulats successifs. Il s'agit de pourcentages en volumes absolus dans l'unité de volume de béton frais en œuvre après serrage.

Pour le calcul de la masse des granulats, il faut faire appel à la notion de coefficient de compacité du béton qui est défini comme le rapport entre la somme des volumes absolus des constituants solides (granulats et ciment) et le volume de béton correspondant en œuvre que l'on prend égal à 1000 litres.

$$\text{On a donc } \gamma = \frac{V_g + V_c}{1000}$$

Avec V_g et V_c volumes absolus (en litres) des granulats d'une part et du ciment d'autre part dans un mètre cube de béton en œuvre.

Le dosage en ciment étant déjà fixé permet de calculer VC en supposant que la masse volumique du ciment est de 3.1 kg/litre. En choisissant γ dans le tableau 1-4 nous pouvons alors calculer le volume absolu V_g de l'ensemble des granulats et la connaissance des pourcentages de chacun d'eux permet de calculer les volumes absolus respectifs en litres pour un mètre cube de béton en œuvre.

La connaissance de la masse volumique de chacun des granulats permet de calculer la masse de chacun d'eux dans la formule de composition qui est alors complètement définie et qui, par addition des masses des différents constituants, donne la masse volumique théorique du béton frais en œuvre Δ_0 en kg/m³.

Tableau 1-4 : Valeurs du coefficient de compacité γ [2].

Consistance	Serrage	Dimension D des granulats (en mm)						
		D = 5	D = 10	D = 12.5	D = 20	D = 31.5	D = 50	D = 80
Molle	Piquage.....	0.750	0.780	0.795	0.805	0.810	0.815	0.820
	Vibration faible....	0.755	0.785	0.800	0.810	0.815	0.820	0.825
	Vibration normale.	0.760	0.790	0.805	0.815	0.820	0.825	0.830
Plastique	Piquage.....	0.760	0.790	0.805	0.815	0.820	0.825	0.830
	Vibration faible....	0.765	0.795	0.810	0.820	0.825	0.830	0.835
	Vibration normale..	0.770	0.800	0.815	0.825	0.830	0.835	0.840
	Vibration puissante	0.775	0.805	0.820	0.830	0.835	0.840	0.845
Ferme	Vibration faible....	0.775	0.805	0.820	0.830	0.835	0.840	0.845
	Vibration normale..	0.780	0.810	0.825	0.835	0.840	0.845	0.850
	Vibration puissante..	0.785	0.815	0.830	0.840	0.845	0.850	0.855

Nota : Ces valeurs sont convenables pour des granulats roulés sinon il conviendra d'apporter les corrections suivantes :

- Sable roulé et gravier concassé : - 0.01,
- Sable et gravier concassé : - 0.03.

ANNEXE 2

FICHES TECHNIQUES DES ADJUVANTS UTILISES.

**PLASTIMENT BV 40**

Réducteur d'eau plastifiant pour hautes résistances mécaniques

Conforme aux normes NF P 18-336 et NF P 18-337.

Présentation

Le PLASTIMENT BV 40 est un réducteur d'eau plastifiant énergétique qui :

- Augmente la compacité du béton, entraînant ainsi une amélioration des résistances mécaniques et de l'imperméabilité.
- Facilite la mise en place du béton.
- Permet éventuellement de réduire le dosage en ciment.
- Permet d'obtenir un retard de début de prise plus ou moins important en augmentant le dosage normal d'utilisation.

Caractères généraux

Liquide brun foncé ne contenant pas de chlore.

Densité : $1,18 \pm 0,01$

pH : $4,5 \pm 1$

Le PLASTIMENT BV 40, grâce à ses propriétés physico-chimiques permet :

Sur béton frais :

- d'augmenter considérablement la maniabilité même en réduisant l'eau de gâchage.
- de disperser le ciment dans la masse.
- d'améliorer l'adhérence ciment-agrégat-fer.
- de s'opposer à la ségrégation.
- d'améliorer la thixotropie.
- d'étaler éventuellement la prise.

Sur béton durci :

- d'augmenter les résistances mécaniques.
- d'accroître la compacité.
- d'augmenter l'imperméabilité.
- de diminuer le retrait et le fluage.

Le PLASTIMENT BV 40 est compatible avec tous les ciments et en particulier le ciment fondu.

Domaines d'application

1. Augmentation des résistances mécaniques

Le PLASTIMENT BV 40 permet de réduire l'eau de gâchage d'environ 10 % sans diminuer la maniabilité du témoin. Des essais sont indispensables pour déterminer la quantité d'eau de gâchage nécessaire à l'obtention de la maniabilité souhaitée.

La compacité et l'imperméabilité sont améliorées.

Les résistances mécaniques à long terme sont augmentées en moyenne de 15 à 40 %.

Le PLASTIMENT BV 40 est donc particulièrement indiqué pour :

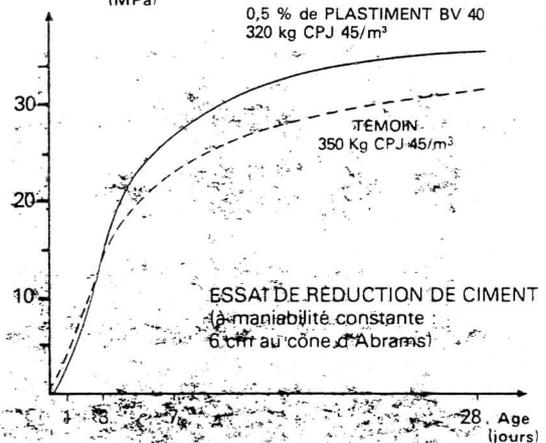
- Les bétons armés à hautes performances.
- Les bétons précontraints.
- Les bétons préfabriqués étuvés.

2. Réduction du dosage en ciment.

Le PLASTIMENT BV 40 permet de réduire le dosage en ciment de l'ordre de 10 % en conservant les résistances mécaniques.

Il est utilisé dans ce cas en B.P.E. pour la confection de béton à la résistance.

Résistance à la compression (MPa)



Prescriptions

Article n°

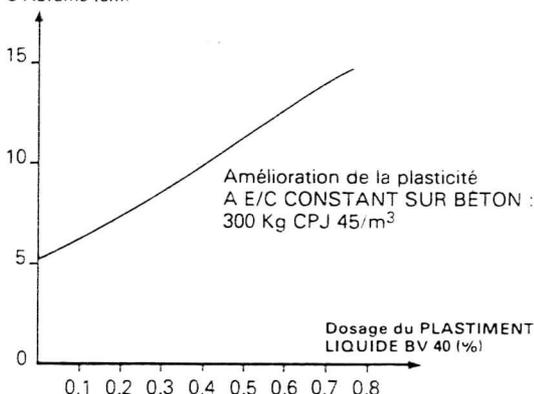
- 1) Les bétons fortement sollicités et devant présenter une grande compacité seront additionnés au moment du gâchage d'un plastifiant réducteur d'eau énergétique du type PLASTIMENT BV 40 ou similaire. Le produit sera utilisé suivant les indications du fournisseur.
- 2) Les bétons transportés à la pompe...
... seront additionnés au moment du gâchage d'un plastifiant retardateur du type PLASTIMENT BV 40 ou similaire. Le produit sera utilisé suivant les indications du fournisseur.



3. Amélioration de la maniabilité.

Le PLASTIMENT BV 40 permet d'améliorer la maniabilité à teneur en eau constante, tout en apportant une augmentation des résistances à long terme de 10 % environ. Il est donc utilisé pour les pièces élancées, fortement ferrillées et dans le cas de béton pompé.

Affaissement au cône d'Abrams (cm)



4. Augmentation du délai de mise en œuvre.

A dosage élevé le PLASTIMENT BV 40 augmente le temps de prise du béton. La température jouant un rôle important, il est bon de procéder à des essais.

A titre indicatif :

- à 20°C, on obtient un retard de prise de 3 à 4 heures environ avec 0,6 %.
- à 5 °C, le même dosage provoque un retard de prise de l'ordre de 8 h.

Le PLASTIMENT BV 40 est compatible avec l'entraîneur d'air SIKA AER.

Cette combinaison conduit à :

- l'amélioration des résistances aux cycles gel-dégel.
- la possibilité de coulage en continu (béton extrudé, béton routier).
- l'amélioration des résistances de tous bétons situés dans les zones de marnage.

Dosage

Le dosage précis du PLASTIMENT BV 40 est fonction des conditions de chantier et de l'effet recherché :

- Plage normale d'utilisation :
0,3 à 1 % du poids du ciment (soit 0,25 à 0,85 litre pour 100 kg de ciment).
- Comme retardateur :
A partir de 0,5 % du poids du ciment (soit 0,42 litre pour 100 kg de ciment).

Son dosage exact se détermine sur chantier en procédant à quelques essais puisqu'il est fonction de la nature des composants du béton, des qualités recherchées (compacité, plasticité) et des conditions climatiques.

Ne pas dépasser 1 % (0,85 litre pour 100 kg de ciment) sans essai préalable : possibilité de retard de prise important.

Mode d'emploi

Dans tous les cas, introduire le PLASTIMENT BV 40 dans l'eau de gâchage.

Conditionnement - Stockage

Fût de 50 litres, fût de 250 kg, vrac.

Le PLASTIMENT BV 40 gèle à - 5 °C environ.

En cas de gel prolongé et intense, vérifier s'il n'a pas été déstabilisé.

Précautions

Manipulation non dangereuse.

En cas de contact avec la peau un simple lavage suffit.

Essais de laboratoire

- Caractéristiques sur béton frais, résistances mécaniques à 7 et 28 Jours, perméabilité, capillarité : CEMEREX - PV n° 363. 1.014 du 11.02.72.
- Résistances mécaniques à 7, 28, 90 et 365 jours : EMPA ZURICH - PV n° 59239/32 du 10.02.69.
- Conformité à la norme ASTM C 494 type A : TESWELL Laboratoires (USA) - PV n° IZ - 15 du 23.08.79.

Indications normalisées

Temps de fin de prise selon NF P 18-356

	CPA 55 HTS Le Teil		CPA SPAM Gargenville	
	20 °C	5 °C	20 °C	5 °C
PLASTIMENT BV 40 0,5 %	11 h 00	15 h 00	10 h 00	22 h 00
PLASTIMENT BV 40 1,25 %	24 h 00	26 h 00	20 h 00	33 h 00

"Le produit est assuré auprès de la Société Mutuelle d'Assurance du Bâtiment et des T.P. (Contrat n° 004 966 M 752) au titre de la responsabilité professionnelle fabricant."

SIKA OUTRE MER

38, Rue Mohamed DOUBA
Hussein Dey ALGER
Tél. : 77.82.07/77.87.00
Telex : 65 5 39 Fax : (02)77.24.21

Les renseignements fournis par la présente notice sont donnés à titre indicatif. Ils sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Ils n'entraînent aucune dérogation à nos conditions générales de vente. Ils ne peuvent en aucun cas impliquer une garantie de notre part ni engager notre responsabilité quant à l'utilisation de nos produits.



Conforme aux normes NF P 18-337 et NF P 18-336.

Présentation

Le PLASTIRETARD est un plastifiant-réducteur d'eau puissant pouvant être utilisé dans tous les bétons. Employé à certains dosages il se comporte comme un retardateur de prise énergétique.

Caractères généraux

Liquide jaune

Densité : $1,175 \pm 0,015$

pH : 7 ± 1

Teneur en ions chlorure : inférieur à 1 g/l.

Compatible avec tous les ciments.

Par son action physico-chimique, le PLASTIRETARD permet :

• Sur béton frais

- d'améliorer la maniabilité même en réduisant l'eau de gâchage.
- de disperser uniformément le ciment dans la masse.
- d'éviter la ségrégation et d'augmenter la thixotropie.
- de retarder le début de prise et de conserver la fluidité pendant le temps nécessaire à la mise en place.
- d'étaler le dégagement de chaleur dû à l'hydratation du ciment.

• Sur béton durci

- d'augmenter considérablement les résistances mécaniques.
- d'accroître la compacité et d'augmenter l'imperméabilité.
- de diminuer le retrait et le fluage.

Domaines d'application

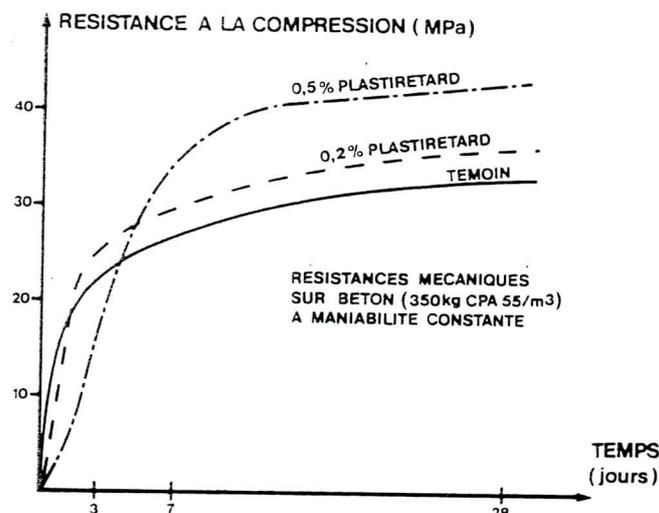
- Amélioration des résistances mécaniques.

Grâce à une réduction d'eau de 10 à 15 %, le PLASTIRETARD augmente les résistances mécaniques du béton à long terme de 20 à 30 %.

Il améliore aussi considérablement la compacité.

Il est particulièrement adapté :

- aux bétons armés et précontraints,
- aux bétons immergés (réservoirs).



- Bétonnage par temps chaud ou en grande masse.

L'effet retardateur de prise du PLASTIRETARD permet d'éviter une brusque élévation de la température du béton lors de la prise et rend son emploi indispensable :

- lorsque la température est élevée,
- pour les bétons en grande masse : barrages, etc.

- Reprises de bétonnage

Grâce au retard de prise important que peut provoquer le PLASTIRETARD, il est possible d'effectuer des reprises de bétonnage après plusieurs heures d'interruption sans autre précaution particulière que la protection contre la dessiccation.

Prescriptions

Article n°...

1) Les bétons mis en place par temps chaud...

Les bétons mis en place en grande épaisseur...

Les bétons transportés à la pompe...

... seront additionnés au moment du gâchage d'un plastifiant retardateur du type PLASTIRETARD ou similaire. Le produit sera utilisé suivant les indications du fournisseur.

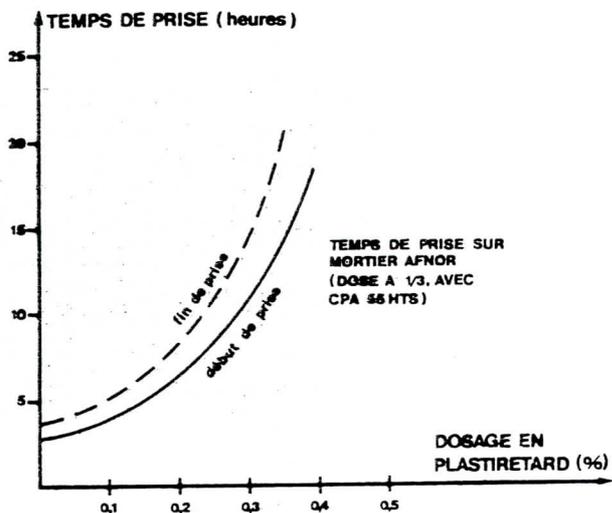
2) Les bétons fortement sollicités...

Les bétons devant présenter une haute compacité...

... seront additionnés au moment du gâchage d'un réducteur d'eau énergétique du type PLASTIRETARD ou similaire. Le produit sera utilisé suivant les indications du fournisseur.

- Transports lointains ou longs du béton.

L'utilisation de PLASTIRETARD permet de transporter sans problème tous les bétons sur de grandes distances quelles que soient les conditions (températures, risques d'embouteillage, etc.).



- Amélioration de la maniabilité.

En tant que plastifiant retardateur le PLASTIRETARD peut être utilisé dans tous les cas de bétonnage et en particulier :

- pour une mise en œuvre plus facile,
- pour les bétons pompés,
- pour les bétons bruts de décoffrage (aspect du parement).

Mode d'emploi

Le PLASTIRETARD est introduit dans la gâchée soit mélangé à l'eau soit en même temps que l'eau.

Il est recommandé d'effectuer des essais préliminaires pour déterminer la quantité d'eau de gâchage nécessaire à l'obtention de la maniabilité.

Dosage

- Plage normale d'utilisation : 0,2 à 0,5 % du poids du ciment (soit 0,17 à 0,43 litre pour 100 kg de ciment) suivant l'effet recherché.
- Entre 0,15 et 0,2 % : effet plastifiant seulement.
- Le dosage de 0,5 % peut éventuellement être dépassé pour l'obtention de retards de prise importants. Il faut alors réaliser des essais à différents dosages dans les conditions du chantier (en particulier la température) de façon à déterminer le dosage fournissant le résultat souhaité. Prendre contact avec notre Service Technique.
- Pour l'utilisation de PLASTIRETARD avec du ciment fondu, nous consulter.

Conditionnement - Stockage

Fût de 50 litres, fût de 240 kg, vrac.

Stockage sans précautions particulières.

Le PLASTIRETARD gèle à - 4 °C environ.

En cas de gel prolongé et intense, vérifier s'il n'a pas été déstabilisé.

Précautions

Manipulation non dangereuse.

En cas de contact avec la peau un simple lavage suffit.

Essais de laboratoire

- Résistances mécaniques à 7 et 28 jours - CETE (Lyon). PV N° PD 76/405 du 24.11.76.
- Résistances mécaniques à 7, 28, 90 et 365 jours - EMPA (Zürich). PV N° 56239/39 du 11.02.69.
- Conformité à la norme DIN 1045 Institut Fuer Bautechnik (Berlin) du 16.05.74.
- Conformité à la norme ASTM C 494 type D. Testwel Laboratories (USA). PV N° IZ - 16 du 23.08.79.

"Le produit est assuré auprès de la Société Mutuelle d'Assurance du Bâtiment et des T.P. (Contrat n° 004 966 M 752 au titre de la responsabilité professionnelle fabricant.)"

Sika O.M.

38, rue Mohamed Douba
16040 Hussein Dey - Alger
Tél. : 77.87.00 - Télex : 65539

Les renseignements fournis par la présente notice sont donnés à titre indicatif. Ils sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Ils n'entraînent aucune dérogation à nos conditions générales de vente. Ils ne peuvent en aucun cas impliquer une garantie de notre part ni engager notre responsabilité quant à l'utilisation de nos produits.