



جامعة بجاية
Tasdawit n' Bgayet
Université de Béjaïa

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A.Mira-BEJAIA
Faculté de la Technologie
Département de Génie Civil

Mémoire de Magister

Filière : Génie Civil

Option : Matériaux et Structure

Thème:

**Influence des particules fines sur les
caractéristiques mécaniques et le retrait d'un
béton ordinaire**

Soutenu le :

.....

Présenté par :

M^r BENCHIKH CHERIF

Membres de jury

M^r BENDADOUCHE Hocine Maître de conférences (Classe A) Univ.de Bejaïa Président

M^r CHELOUAH Nasser Maître de conférences (Classe A) Univ.de Bejaïa Rapporteur

M^r TAHAKOURT A/Kader Professeur Univ.de Bejaïa Examineur

M^r KADRI Mohamed Maître de conférences (Classe A) Univ.de Boumerde Examineur

Année Universitaire : 2010/2011

REMERCIEMENTS

Je tiens à présenter mes respectueux remerciements à M^r **N. CHELOUAH**, qui a bien voulu diriger et encadrer les travaux de ce mémoire, pour son suivi et ses précieux conseils tout au long de ce travail.

Je remercie vivement les membres du jury pour m'avoir honoré en acceptant de juger mon travail.

Je remercie M^r **L. BOUZEKRI** pour son aide précieuse, pour son accueil au sein de son établissement, et pour toute la documentation.

Je remercie tout le personnel du LTP Est pour leur aide, ainsi que les techniciens du laboratoire de béton.

J'exprime également ma profonde reconnaissance à tous mes amis pour le soutien qu'ils m'ont apporté durant ce travail.

En fin je remercie toute ma famille et ma fiancée qui m'ont encouragé à poursuivre mes études.

-----Listes des figures-----

Figure I.1.Courbes granulométriques des granulats	12
Figure I.2.Fuseaux proposés pour la granulométrie des sables à béton	14
Figure I.3.Relation entre (C/E) et la résistance a la compression (fc) d’après la formule de BOLOMY [11]	20
Figure I.4.Variation de la résistance en compression à 28 jours en fonction du rapport G/S [11]	21
Figure I.5.Rapport E/C en fonction de la teneur en fillers [23]	26
Figure I.6.Rapport E/C en fonction de la teneur en fillers [23]	27
Figure I.7.Retrait des bétons à 28 jours en fonction de la teneur en fillers [23]	27
Figure II.1.Abaque permettant d’évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport C/E et de l’ouvrabilité désirée	38
Figure II.2.Courbe optimale selon Dreux-Gorisse	40
Figure III.1.Courbes granulométriques des graviers (Carrière Djebel Youcef)	45
Figure III.2.Courbe granulométrique du sable fin (Carrière Djebel Youcef)	46
Figure III.3.Courbe granulométrique du sable lavé 0/3 (sablière Amassin)	46
Figure III.4.Courbe granulométrique du mélange des deux sables fin et grossier (carrière Djebel Youcef)	48
Figure III.5.Courbe granulométrique mélange sable lavé 0/3 et sable de dune	49
Figure III.6.Courbe granulométrique du mélange sable lavé 0/3 et la fraction de calcaire broyé	50
Figure III.7.Résultats de l’essai a la tâche du sable de 0/3 (Carrière Djebel Youcef)	55
Figure III.8.Résultats de l’essai a la tâche du sable lavé (sablière Amassin)	56
Figure III.9.Résultats de l’essai a la tâche de dune (Boussaâda)	55
Figure III.10.DRX sur les granulats de carrière Djebel Youcef	64
Figure III.11.DRX sur le sable lavé 0/3 (sablière Amassin)	64
Figure III.12.DRX sur le sable de dune (Boussaâda)	65
Figure IV.1.Composition de BO1	69
Figure IV.2.Composition de BO2	74
Figure IV.3.Composition de BO3	79
Figure IV.3.Composition de BO4	84

Figure V.1.Evaluation de la masse moyenne pour les quatre types de bétons en fonction du temps	92
Figure V.2.Evaluation de la masse volumique moyenne pour les quatre types de bétons en fonction du temps	93
Figure V.3. Evaluation de la résistance à la compression des bétons en fonction du temps	97
Figure V.4.Evaluation des retraits sur les prismes de béton en fonction du temps	103
Figure V.5.Evaluation de la masse moyenne des prismes de béton en fonction du temps	104

-----Liste des Tableaux-----

Tableau I.1.Les cinq types de ciments courants [3]	9
Tableau I.2.Les classes granulaires	11
Tableau I.3.coefficient Los Angeles de quelques roches utilisées comme granulats. [10]	13
Tableau I.4.coefficient MICRO DEVAL des roches utilisées comme granulats. [10]	13
Tableau I.5.La finesse des fuseaux admissibles [5]	15
Tableau I.6.Valeurs préconisées pour l'équivalent de sable	16
Tableau I.7.Valeur de bleu de méthylène [8]	17
Tableau I.8.Classe de consistance (Slump test). [13]	18
Tableau I.9. Dosage en ciment [12]	21
Tableau I.10.Granulats utilisés pour la confection des différents bétons [23]	26
Tableau II.1.Valeurs minimales du Module de finesse d'après ABRAMS [1]	31
Tableau II.2.Valeurs de A. [11]	32
Tableau II.3.Evaluation de l'ouvrabilité par référence à l'affaissement au cone ou au test d'ouvrabilité.	34
Tableau II.4.Correspondance entre classe vraie et dénomination normalisée des ciments.	35
Tableau II.5.Détermination de Dmax en fonction du ferrailage et de l'enrobage.	36
Tableau II.6.Coefficient granulaire G' en fonction de la qualité et de la taille maximale des granulats Dmax.	37
Tableau II.7.Dosage minimale en fonction de D	38
Tableau II.8.Correction sur le dosage en eau en fonction de la dimension maximale des granulats si (D=25)	39
Tableau II.9.K, fonction de la forme des granulats, du mode de vibration et du dosage en ciment	40
Tableau II.10.Valeur du coefficient de compacité γ	41
Tableau III.1.Mesure du coefficient d'aplatissement pour le gravier (15/25)	51
Tableau III.2.Mesure du coefficient d'aplatissement pour le gravier (8/15)	52
Tableau III.3.Mesure du coefficient d'aplatissement pour le gravier 3/8	52
Tableau III.4.Teneur en impuretés pour les gravillons.	53
Tableau III.5.Equivalent de sable pour le sable 0/3 (Carrière Djebel Youcef)	54
Tableau III.6.Equivalent de sable pour le sable lavé 0/3 (sablière Amassin)	54
Tableau III.7.Equivalent de sable pour le sable de dune (Boussaâda)	54
Tableau III.8.Masse volumique absolue «ps» des granulats de la carrière Djebel Youcef	57
Tableau III.9.Masse volumique absolue «ps» des granulats Sable lavé 0/3 et sable de dune	57
Tableau III.10.Masse volumique absolue «ps» du mélange sable lavé 0/3 corrigé avec sable de dune	58

Tableau III.11.Masse volumique absolue « ρ_s » du mélange sable lavé 0/3 corrigé avec la fraction de calcaire broyé	58
Tableau III.12.Masse volumique apparente « ρ_{app} » des granulats de la carrière Djebel Youcef	59
Tableau III.13.Masse volumique apparente « ρ_{app} » des granulats Sable lavé 0/3 et sable de dune	59
Tableau III.14.Masse volumique apparente « ρ_{app} » du mélange sable lavé 0/3 Corrigé avec sable de dune	60
Tableau III.15.Masse volumique apparente « ρ_{app} » du mélange sable lavé 0/3 Corrigé avec la fraction de calcaire broyé	60
Tableau III.27.Mesure du coefficient Los Angeles des granulats	61
Tableau III.28.Mesure du coefficient Micro-Doval des granulats	61
Tableau III.29.temps de début et de fin de prise	62
Tableau III.30.Détermination de la stabilité du ciment par le Chatelier	62
Tableau IV.1.Valeurs des tamisats (%) de la courbe de mélange pour le BO1	69
Tableau IV.2.Résultats de composition de BO1	72
Tableau IV.3.Valeurs des tamisats (%) de la courbe de mélange pour le BO2	74
Tableau IV.4.Résultats de composition de BO2	77
Tableau IV.5.Valeurs des tamisats (%) de la courbe de mélange pour le BO3	79
Tableau IV.6.Résultats de composition de BO3	82
Tableau IV.7.Valeurs des tamisats (%) de la courbe de mélange pour le BO4	84
Tableau IV.8.Résultats de composition de BO4	87
Tableau V.1.les quantités des composants des quatre types de béton	88
Tableau V.2. Résultats d'affaissement au cône d'Abrams	89
Tableau V.3.volume d'air occlus dans pour les quatre types de béton	90
Tableau V.4.Evaluation de la masse moyenne des quatre types de béton en fonction du temps	91
Tableau V.5.Evaluation de la masse volumique moyenne pour les quatre types de béton en fonction du temps	93
Tableau V.6.Les quantités des composants pour les quatre types de béton	102

SOMMAIRE

Liste des figures	1
Liste des tableaux	3
Introduction générale	5
chapitre I: Etude bibliographique	
I.1.Introduction	8
I.2.Composition d'un béton ordinaire	8
I.2.1.Le Ciment	8
I.2.1.1.Les types et classes des ciments courants	8
I.2.1.2.Le ciment Portland	10
I.2.2.Granulats	11
I.2.2.1.Caractéristiques des roches pour granulats	11
I.2.2.2.Composition minéralogique des granulats	11
I.2.2.3.Les classes granulaires	11
I.2.2.4.Les grandeurs caractéristiques des granulats	12
I.2.2.5. Les critères à demander et à retenir pour les sables à béton	14
I.2.3. L'eau de gâchage	17
I.2.4. Les additions minérales	17
I.2.4.1. Les additions calcaires	17
I.2.4.2. Mécanisme d'action des additions calcaires	18
I.3.Caractérisation du béton à l'état frais	18
I.3.1. L'ouvrabilité	18
I.3.1.1.Mesure de l'ouvrabilité	18
I.3.2.Mesure de la teneur en air occlus	19
I.4.Caractérisation du béton à l'état durci	19
I.4.1.Résistance mécanique	19
I.4.1.1.Influence du dosage en ciment et du dosage en eau (E/C)	19
I.4.1.2.Influence de la granularité	21
I.4.1.3.Influence de la dimension maximale des granulats D	22
I.4.2.Les retraits	22
I.4.2.1.Retrait endogène	22
I.4.2.2.Retrait plastique	23

I.4.2.3.Retrait thermique	24
I.4.2.4.Retrait de dessiccation	24
I.4.2.5.Retrait de carbonatation	25
I.5.Influence des fines sur les propriétés des bétons	26

Chapitre II: Méthode de formulation de béton

II.1.Introduction	29
II.2. Quelques méthodes de formulation de béton	30
II.2.1. Méthode de BOLOMEY	30
II.2.2. Méthode D'Abrams	31
II.2.3. Méthode de FAURY	31
II.2.4.Méthode de VALETTE	32
II.2.5. Méthode de JOISEL	32
II.2.6.Méthode de BARON et LESAGE [9]	33
II.2.7.Méthode des volumes absolus	33
II.3.Méthode DREUX- GORISSE	34
II.3.1.Principe de la méthode de DREUX- GORISSE	34
II.3.2.Définition du cahier des charges	34
II.3.2.1.Critère de maniabilité	34
II.3.2.2.Critère de résistance	35
II.3.2.3.Choix du ciment	35
II.3.2.4.Choix des granulats	35
II.3.3.Formulation de Dreux- Gorisse	36
II.3.3.1.Dosage en ciment	36
II.3.3.2.Dosage en eau	39
II.3.3.3.Détermination du mélange optimal à minimum de vides	39
II.3.3.4.Masse des granulats	41
II.3.3.4.Dosage des granulats	42
II.3.4.Ajustement de la formule au mètre cube	42

Chapitre III: Caractérisation des matériaux

III.1.Introduction	44
III.2. Description des composants de base	44
III.2.1.Le ciment	44
III.2.2.Le sable	44
III.2.3.Le gravie	44
III.2.4.L'eau de gâchage	44
III.3.Analyse granulométrique par tamisage	45
III.3.1.Analyse granulométrique des gravillons	45
III.3.2.Analyse granulométrique des sables	46
III.3.2.1.Présentation des résultats	47
III.3.2.2.Correction éventuelle du module de finesse du sable	47
III.4.Mesure du coefficient d'aplatissement des granulats	51
III.4.1.Expression du coefficient d'aplatissement "A"	51
III.4.2.Interprétation des résultats	53
III.5.Calcul de la teneur en impureté des graviers	53
III.5.1.Détermination de la propreté superficielle	53
III.5.1.1.Expression des résultats	53
III.5.1.2.Interprétation des résultats	53
III.6.Détermination de la propreté des sables	53
III.6.1.Essai d'équivalent de sable	53
III.6.1.1.Expression des résultats	53
III.6.1.2.Présentation des résultats	54
III.6.1.3.Interprétation des résultats	55
III.6.2.Essai au bleu de méthylène dit essai à la tâche	55
III.6.2.1.Expression des résultats	55
III.6.2.2.Présentation des résultats	55
III.6.2.3.Interprétation des résultats	56
III.7.Détermination des masses volumiques	56
III.7.1. Détermination de la masse volumique absolue «ps»	56
III.7.1.1. Expression des résultats	56
III.7.1.2.Présentation des résultats	57
III.7.2.Détermination de la masse volumique apparente « papp»	58

III.7.2.1. Expression des résultats	58
III.7.2.2.Présentation des résultats	59
III.7.3. Interprétation des résultats	60
III.8.Résistance au choc : essai Los Angeles	60
III.8.1. Expression des résultats	60
III.8.2.Présentation des résultats	61
III.8.3.Interprétation des résultats	61
III.9.Résistance à l'usure : Essai d'usure MICRO-DEVAL	61
III.9.1. Expression des résultats	61
III.9.2.Présentation des résultats	61
III.9.3.Interprétation des résultats	62
III.10. Caractérisation du ciment	62
III.10.1.Masse spécifique	62
III.10.2.Mesure des temps de début et de fin de prise	62
III.10.2.1.Présentation des résultats	62
III.10.2.2.Interprétation des résultats	62
III.10.3.Détermination de la stabilité «essai Le Chatelier»	62
III.10.3.1. Présentation des résultats	62
III.10.3.2.Interprétation des résultats	63
III.11.Composition chimique et minéralogique des granulats	63
III.11.1.La diffraction aux rayons X (DRX)	63
III.11.2.Principe de diffraction aux rayons X	63
III.11.3.Présentation des résultats	63
III.11.4. Interprétation des résultats	65
 Chapitre IV: Etude de la formulation	
IV.1.Formulation du béton selon la méthode de Dreux-Gorisse	66
IV.1.1.introduction	66
IV.1.1.Données de bases	66
IV.1.2.Dosage en ciment	67
IV.1.3.Dosage en eau	67
IV.1.4.Détermination de la composition du béton ordinaire à base de sable lavé 0/3 (BO1)	67

IV.1.4.1.Tracé de la courbe granulaire de référence	67
IV.1.4.2.Tracé de la courbe représentative du mélange des granulats	68
IV.1.4.3.Dosage des granulats	70
IV.1.4.4.Présentation des résultats	72
IV.1.5.Détermination de la composition du béton ordinaire à base de mélange sable lavé 0/3 corrigé par le sable de dune (BO2)	72
IV.1.5.1.Tracé de la courbe granulaire de référence	72
IV.1.5.2.Tracé de la courbe représentative du mélange des granulats	73
IV.1.5.3.Dosage des granulats	75
IV.1.5.4.Présentation des résultats	77
IV.1.6.Détermination de la composition du béton ordinaire à base de mélange sable lavé corrigé par la fraction de calcaire broyé (BO3)	77
IV.1.6.1.Tracé de la courbe granulaire de référence	77
IV.1.6.2.Tracé de la courbe représentative du mélange des granulats	78
IV.1.6.3.Dosage des granulats	80
IV.1.6.4.Présentation des résultats	82
IV.1.7.Détermination de la composition du béton ordinaire à base de mélange de sable carrière 0/3 (BO4)	82
IV.1.7.1.Tracé de la courbe granulaire de référence	82
IV.1.7.2.Tracé de la courbe représentative du mélange des granulats	83
IV.1.7.3.Dosage des granulats	85
IV.1.7.4.Présentation des résultats	87
 Chapitre V: Etude expérimentale et interprétation des résultats	
V.1.Confection des bétons	88
V.2.Essais sur béton frais	89
V.2.1.Essai d'affaissement au cône d'Abrams (Slump test)	89
V.2.2.Essai de contrôle du volume d'air entraîné	89
V.3.Prélèvement des échantillons	90
V.4.Mode de mûrissement	90
V.5.Masse volumique fraîche	91
V.6.Essais réalisés sur le béton durci	92
V.6.1.Masse volumique	92
V.6.2.Calcul de la masse volumique sèche	94

V.6.2.1.Calcul de la masse volumique sèche théoriquement	94
V.6.2.2.Calcul de la masse volumique sèche à 28 jours	95
V.6.3.Essai de compression	96
V.6.3.5.Présentation des résultats	96
V.7.Corrections effectuées sur les quatre types de béton selon la méthode de Dreux-Gorisse	98
V.7.1.Correction effectuée sur BO1	98
V.7.2.Correction effectuée sur BO2	99
V.7.3.Correction effectuée sur BO3	99
V.7.4.Correction effectuée sur BO4	100
V.8.Essai de retrait	101
V.8.1.Objectif de l'essai	101
V.8.2.Principe de l'essai	101
V.8.3.Conduite de l'essai	101
V.8.4.Résultats obtenus	102
V.9.Evaluation de la masse moyenne sur les prismes de béton	104
Conclusion générale	106
Références bibliographique	108
Annexes	111

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Dans un contexte général, on désigne par le terme «béton ordinaire » un mélange d'eau, de ciment ou Liant, et de granulats. L'eau et le ciment forment la pâte et les granulats forment le matériau de remplissage inerte. Le terme « inerte » signifie que les granulats ne réagissent pas avec le liant et ne participent à la résistance du béton que par la compacité qu'ils confèrent à celui-ci.

En termes de volume absolu, les granulats représentent 60 à 85% du volume du béton et sont, par conséquent, le constituant principal. Le type de granulats et le volume qu'ils occupent influencent considérablement les propriétés mécaniques du béton, son dosage et son coût.

Le choix des granulats destinés au béton est plus délicat qu'on pourrait le penser, d'autant plus que ces granulats doivent être aussi bon marché que possible. C'est-à-dire produits locaux

La demande très élevée en sable de construction en Algérie a conduit à une exploitation de ce matériau d'une manière illicite et non contrôlée qui peut dans certains cas nuire à la qualité du béton ordinaire.

L'extraction des sable de oued se fait généralement par pelle mécanique, contrairement au cas de l'exploitation en carrière, le concassage est une opération auxiliaire puisqu'on concassera les classes granulaires non demandées pour augmenter les classes déficitaires. Le criblage est, ici, l'opération principale; il est généralement pratiqué dans un courant d'eau, ce qui combine tamisage et lavage.

Les sables d'oued sont essentiellement quartzeux (silice SiO_2) mais souvent accompagné de particule très fines telles que les limons, les boues et les vases, qui sont composées de minéraux argileux et de particules de charbon [35].

L'opération de lavage du sable d'oued, est loin d'être une solution qui donne un sable propre, mais aussi préférentielle de point de vue finesse, le sable de oued est généralement grossier.

D'autres part, les carrières exploitent d'importants gisements de roches, à majorité calcaire, rejettent après concassage une quantité toute aussi importante de sable concassé. Ce dernier occupe une surface de stockage de plus en plus grande qui pose problème à son évacuation

La présence d'éléments très fins ($\text{é}lts < 80\mu\text{m}$) dans les sables de concassage est souvent inévitable car la fragmentation de roches (calcaires) s'accompagne systématiquement d'une production de fines. La présence de ces dernières en quantité non contrôlée dans une composition de béton, peut compromettre la qualité du béton [21].

En Algérie, la plupart des stations de concassage ne sont pas équipées d'installation de défillérisation permettant de maîtriser la teneur en fines.

Lors d'une reconnaissance des sables de concassage utilisés pour la confection des bétons, il apparaît que certaines carrières produisent un sable à forte teneur en fines, et d'autres à faible teneur en fines.

Il nous semblait donc important de trouver des voies de valorisation pour améliorer la qualité des sables locaux.

En raison des importantes quantités mises en jeu (les volumes à traiter se comptent en millions de m³) il fallait donc opter pour des volumes substitués conséquents. La substitution partielle d'un sable par un autre sable de qualité différente offre cette possibilité.

Dès le début de notre étude expérimentale, nous avons voulu reproduire une granulométrie du sable fixée, recommandée, en combinant les granulats fins avec les gros granulats. Pour ce faire, le sable de oued et le sable de carrière ont été utilisés en les combinant avec d'autres sables de qualité dans des proportions précises afin de s'approcher le plus possible de la granulométrie fixée au départ. Cette façon nous a permis de maîtriser la granulométrie des mélanges et de tenir compte dans l'analyse des résultats, comme un paramètre de plus.

Objectifs de la recherche

L'objectif de l'étude présentée dans ce mémoire est d'évaluer le caractère valorisable de ces sables locaux, d'étudier l'influence que pose ces sables selon leur provenance et origine sur les caractéristiques d'un béton ordinaire à court terme et à long terme par rapport aux propriétés recherchées au départ.

Mettre en évidence une comparaison entre le sable d'oued et le sable de carrière et apporter une correction aux sables nuisibles par un apport de particules fines.

Organisation du mémoire

Ce mémoire est structuré en cinq chapitres

Le premier chapitre présente un aperçu général sur les composants d'un béton ordinaire (BO), il traite en générale les critères à demander et à retenir pour les granulats tels que : la granulométrie, la propreté, la résistance ...etc. mais aussi les caractéristiques d'un béton ordinaire à l'état frais et à l'état durci. En deuxième chapitre, quelques méthodes de formulation de béton ont été exposées de manière générale, et de façon plus détaillée la méthode de Dreux-Gorisse.

Le troisième chapitre regroupe les détails relatifs aux matériaux et appareillage utilisés dans cette étude, caractérisation et évaluation de la qualité des granulats qui rentrent dans la composition d'un béton ordinaire en fonction des exigences des normes.

Dans le quatrième chapitre, une étude de formulation de béton selon la méthode de Dreux-Gorisse visant à déterminer les proportions des différents matériaux à mettre en œuvre pour quatre types de béton ordinaire tels que :

-**BO1** : Béton ordinaire à base de sable lavé 0/3.

-**BO2** : Béton ordinaire à base de mélange sable lavé 0/3 corrigé avec sable de dune.

-**BO3** : Béton ordinaire à base de mélange sable lavé 0/3 corrigé avec la fraction de calcaire broyé.

-**BO4** : Béton ordinaire à base de mélange sable de carrière 0/3.

Et cela pour réaliser un béton à caractère normalisé et d'estimer les dosages des différents constituants en Kg/m^3 à partir des caractéristiques souhaitées.

Le chapitre cinq regroupe les résultats et discussions sur les essais d'études, qui feront l'objet de suivre l'évolution de la résistance à la compression et le retrait jusqu'à 180 jours.

Enfin, on achèvera notre travail par une conclusion générale qui résume les principaux résultats obtenus.

CHAPITRE I
ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1.Introduction

Le béton ordinaire est un mélange hétérogène de plusieurs composants : ciment, eau, air et granulats de masse volumique et de taille très différente.

C'est un matériau synthétique ou un squelette de granulats est consolidé par une matrice de liant et d'eau (la pâte) qui durcit progressivement. L'objectif est généralement de remplir les vides existants entre les granulats par la pâte, qui joue le rôle de lubrifiant et de liant (ou colle).

Le béton est donc un matériau diphasique : pâte et granulats. Ses propriétés dépendent, globalement, de chacun des deux constituants. En particulier, la pâte impose deux caractéristiques au béton :

- Matériau vieillissant, c'est-à-dire dont les propriétés rhéologiques s'évaluent avec le temps.
- Matériau poreux car la pâte est intrinsèquement et inévitablement poreuse.

I.2.Composition d'un béton ordinaire

I.2.1.Le Ciment

Le ciment est un liant hydraulique, une matière inorganique finement moulue qui, gâchée avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit en réaction au processus d'hydratation. Après durcissement, cette pâte conserve sa résistance et sa stabilité, même sous l'eau.

Le ciment portland est composé de clinker moulu auquel on ajoute une quantité de gypse, destiné à régulariser la prise. Pour modifier les propriétés du ciment, on ajoute les autres constituants associés au clinker grâce à leurs caractéristiques chimiques ou physiques. Les constituants les plus utilisés sont: calcaires, Laitier granulé de haut fourneau, cendres volantes, fumée de silice et fillers.

I.2.1.1.Les types et classes des ciments courants

La norme NF P 15-301, révisé en 1994 distingue les ciments suivants leur classe et sous classe, elle donne un outil simple pour choisir le ciment le mieux adapté à chaque usage

a. Les cinq types de ciments courants (NF P 15-301)

Le type informe les constituants entrant dans la composition du ciment et fixe les limites de leurs proportions

Tableau I.1. Les cinq types de ciments courants [3]

Type de ciment	Notation	% clinker	Autres composants	Principales utilités
Ciment Portland	CPA – CEM I	Min. 95%	Max. 5% de filler	Bétons armés
Ciment Portland composé	CPJ – CEM II / A Ou CPJ – CEM II / B	80 à 94% 65 à 79%	Max. 35% de cendres volantes, pouzzolanes, fumées de silice, laitiers	Travaux de dallage, routes
Ciment de haut fourneau	CHF – CEM III / A Ou CHF – CEM III / B	35 à 64% 20 à 34%	De 35 à 80% de laitier de haut fourneau	Convient aux travaux peu soumis à une trop grande augmentation de chaleur : travaux hydrauliques
Ciment de haut fourneau	CLK – CEM III / C	5 à 19%	81 à 95% de laitier de haut fourneau	souterrains, ouvrages massifs, travaux en eaux agressives. A éviter par temps froid
Ciment aux laitiers et aux cendres	CLC – CEM V / A Ou CLC – CEM V / B	40 à 64% 20 à 39%	18 à 30% laitier et 18 à 30% pouzzolanes ou cendres volantes 31 à 50% laitier et 31 à 50% de cendres volantes ou pouzzolanes	

b. Les classes de résistance des ciments courants

La norme (NF P 15 301) prévoit trois classes de résistance en compression définies par la valeur minimale de la résistance du ciment mesurée à vingt-huit jours, elle est

exprimée en N/mm² : 32.5, 42.5, 52.5 .chacune de ses classes de résistance, dites «normales» est subdivisée en fonction de la résistance du ciment au jeune âge : la première, ordinaire, est sans mention, la deuxième, élevée, est signalée par la lettre R (exemple : 42,5R). [1]

I.2.1.2.Le ciment Portland

Le ciment Portland, le plus répandu parmi les liants hydrauliques, est un mélange de gypse et clinker. Le clinker est un produit obtenu en cuisant vers 1450 C° des mélanges appropriés de calcaire et d'argile. Le clinker du ciment Portland est donc un mélange de plusieurs constituants minéralogiques impurs. Le clinker moulu en poudre très fine forme la poudre de ciment telle qu'on la connaît. La fonction du gypse dans le ciment Portland est d'éviter une prise trop rapide du clinker.

- **Principe d'hydratation du ciment Portland [2]**

Le ciment Portland contient quatre constituants principaux : le silicate tricalcique $3 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ou, par abréviation, C_3S ; le silicate bicalcique $2 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ou C_2S ; l'aluminate tricalcique $3 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ou C_3A ; le ferro-aluminate tétracalcique $4 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ou C_4AF .

La réaction des différentes phases avec l'eau forme un processus très complexe qui est l'hydratation du ciment portland. Les silicates de calcium (C_2S et C_3S), représentent environ 70% des constituants du ciment, réagissent avec l'eau et produisent des silicates de calcium hydratés (C-S-H), dont les principales propriétés mécanique de la pate en dépendent, et de la portlandite ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), qui contribue à la durabilité suivant les réactions ci-dessous :



Les aluminates (C_3A et C_4AF) réagissent avec l'eau et les sulfates contenues dans le gypse pour former, dès les premier instants du contact eau-ciment, des sulfoaluminates de calcium hydrate insoluble (ettringite primaire) suivant les réactions ci-dessous :



Une fois tout le gypse est consommé, l'ettringite devient une source d'ion sulfate pour les aluminates non encore hydratés pour former des mono-sulfoaluminates $C_3A.Ca SO_4.12H_2O$ et parfois des aluminates hydratés secondaires (C_4AH_{13}).

Les vitesses d'hydratation des différents composants du ciment sont différentes .En effet, C_3A dès son contact avec l'eau s'hydrate, suivie de C_3S et enfin de C_4AF .

I.2.2.Granulats

Les granulats (sables, gravillons et cailloux) constituent le squelette du béton, ils représentent les deux tiers du volume du béton.ils sont constitués de différents grains minéraux, naturels ou artificiels, dont les caractéristiques influent sur la qualité des bétons .Leurs formes et leurs dimensions jouent un rôle important pour la mise en œuvre et la compacité du béton et doivent être chimiquement inertes vis-à-vis du ciment, de l'eau et de l'air.

I.2.2.1.Caractéristiques des roches pour granulats

Les granulats naturels sont issus de roches meubles ou massives, caractérisées par leur composition minéralogique, leur texture, leur état d'altération, leur porosité.de ces caractéristiques dépendront les propriétés des granulats (résistances mécanique, absorption d'eau ou porosité, homogénéités, gélivité, altérabilité, réactivité aux alcalins).

I.2.2.2.Composition minéralogique des granulats

Les granulas naturels, qu'ils proviennent de roches massives ou de roches meubles, sont essentiellement constitués de silice, de silicates (ces deux familles de minéraux constituent 90% de l'écorce terrestre) et de carbonate.

I.2.2.3.Les classes granulaires

Elles sont définies en fonction des grosseurs minimales (d) et maximales (D) des éléments après passage dans un tamis à mailles rondes ou carrées. La norme NF P 18-101 définit six classes granulaires chacune correspondant à une étendue granulair d/D. [5]

Tableau I.2.Les classes granulaires

Dénomination des granulats	Etendu granulair
Fillers 0/D	$D < 2\text{mm}$ et passant à $0.063\text{mm} > 70\%$
Sable 0/D	$D < 6.3 \text{ mm}$ (4mm pour les sables à béton)

Gravillon d/D	d>1mm D<31.5mm
Graves 0/D	6.3mm<D<80mm
ballast	d>25mm D<50mm

I.2.2.4. Les grandeurs caractéristiques des granulats

a. La granulométrie

Elle est choisie en fonction de l'utilisation envisagée

La courbe granulométrique indique, après passage dans les tamis successifs, les pourcentages cumulés en poids des éléments constitutifs.

La courbe est qualifiée de serrée si la grosseur des granulats est voisine et d'étalée si les grosseurs sont variées

Elle est continue si les granulats sont tous représentés et discontinue si certaines classes de dimension sont absentes

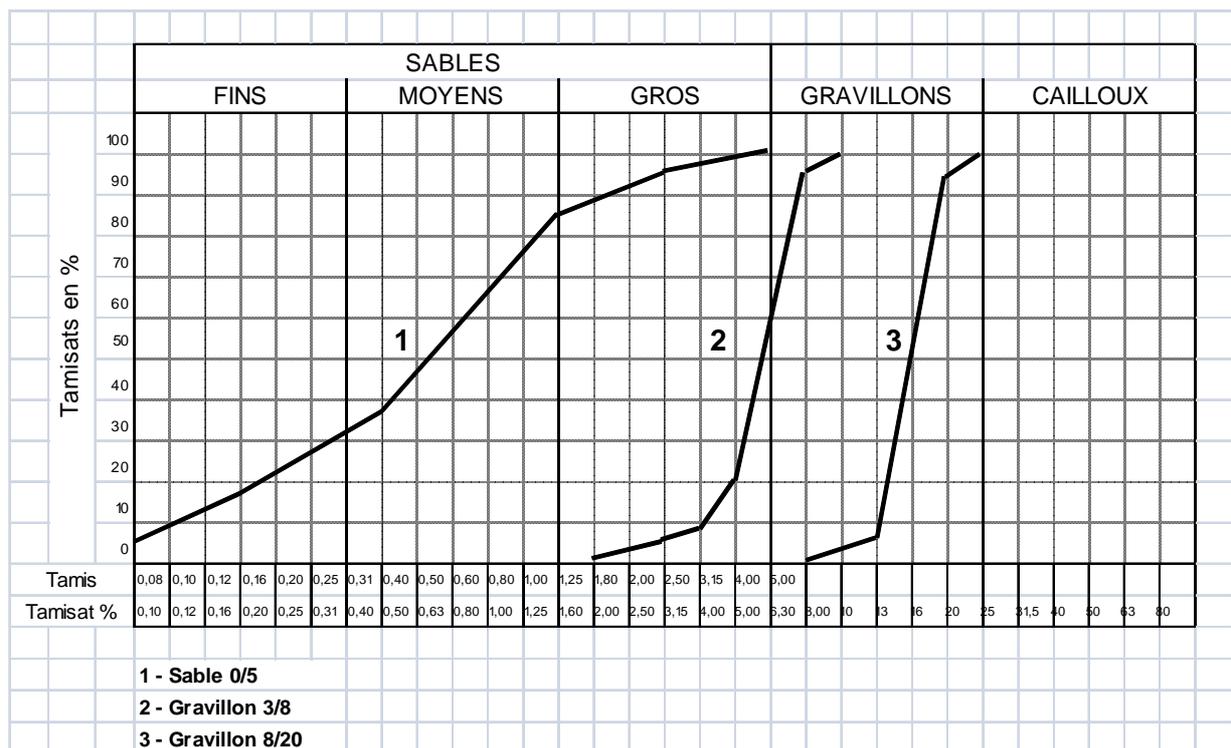


Figure I.1. Courbes granulométriques des granulats

b. La propreté

Les granulats ne doivent pas contenir plus de 2 à 5 % de fines argileuses, de matières organiques ou d'autres impuretés.

c. La forme

Choisir des matériaux ni trop longs, ni trop plats la forme des grains appréciée par un coefficient d'aplatissement qui caractérise le granulat en fonction de sa plus grande dimension et de son épaisseur, une mauvaise forme nuit à la maniabilité, ce qui risque d'être compensé par un accroissement du dosage en eau, et favorise la ségrégation et l'apparition de défauts d'aspect.

d. Résistance à l'usure et aux chocs

C'est une caractéristique importante pour les gravillons, les valeurs de résistance à l'usure et aux chocs sont limitées pour ne pas risquer d'avoir un mélange dont la granularité pourrait évoluer pendant le malaxage ou le transport en camion toupie, ce qui modifierait les propriétés des bétons

- **Essai LOS ANGELES [NFP 18-573]**

L'essai permet de mesurer les résistances combinées à la fragmentation par chocs et à l'usure par frottements réciproques des éléments d'un granulat.

Un coefficient Los Angeles faible correspond à un excellent matériau. [4]

A titre indicatif, on présente dans ce tableau les valeurs du coefficient Los Angeles de quelques roches utilisées comme granulats.

Tableau I.3. coefficient Los Angeles de quelques roches utilisées comme granulats. [10]

Nature du granulat	LA
Quartzites	15
Granite	20
Silex	19
Calcaires	15 < LA < 100

- **Essai d'usure MICRO DEVAL [NFP 18-572]**

Cet essai permet de mesurer la résistance à l'usure par frottements entre les granulats et une charge abrasive.

Plus le coefficient Micro-Deval est élevé, meilleur est le matériau. [4]

A titre indicatif, on présente dans ce tableau les valeurs du coefficient MICRO DEVAL de quelques roches utilisées comme granulats.

Tableau I.4. coefficient MICRO DEVAL des roches utilisées comme granulats. [10]

Nature du granulat	MD
Quartzites	5
Granite	10

Calcaires	$12 < MD < 100$
-----------	-----------------

I.2.2.5. Les critères à demander et à retenir pour les sables à béton

L'expérience nous a permis de mettre en évidence un certain nombre d'éléments concernant les critères à demander aux sables pour béton. Le sable est l'élément inerte essentiel rentrant dans la composition des bétons ; il conditionne leur qualité.

a. Module de finesse et fuseau granulométrique des sables [5]

Le module de finesse est un coefficient permettant de caractériser l'importance des éléments fins dans un granulat, il est égal au $1/100^e$ de la somme des refus, exprimés en pourcentages sur les différents tamis de la série suivante : 0.16, 0.315, 0.63, 1.25, 2.5, 5 mm

Le module de finesse est une caractéristique intéressante, surtout en ce qui concerne les sables. Un bon sable à béton doit avoir un module de finesse d'environ 2.2 à 2.8 ; au dessous, le sable a une majorité d'éléments fins ce qui nécessite une augmentation du dosage en eau ; au dessus, le sable manque de finesse et le béton y perd en ouvrabilité.

Des recherches sur l'influence de la finesse des sable sur les divers qualités du béton, ont conduit à délimiter certain fuseaux de granularités des admissibles tels que ceux représentés sur la figure suivante.

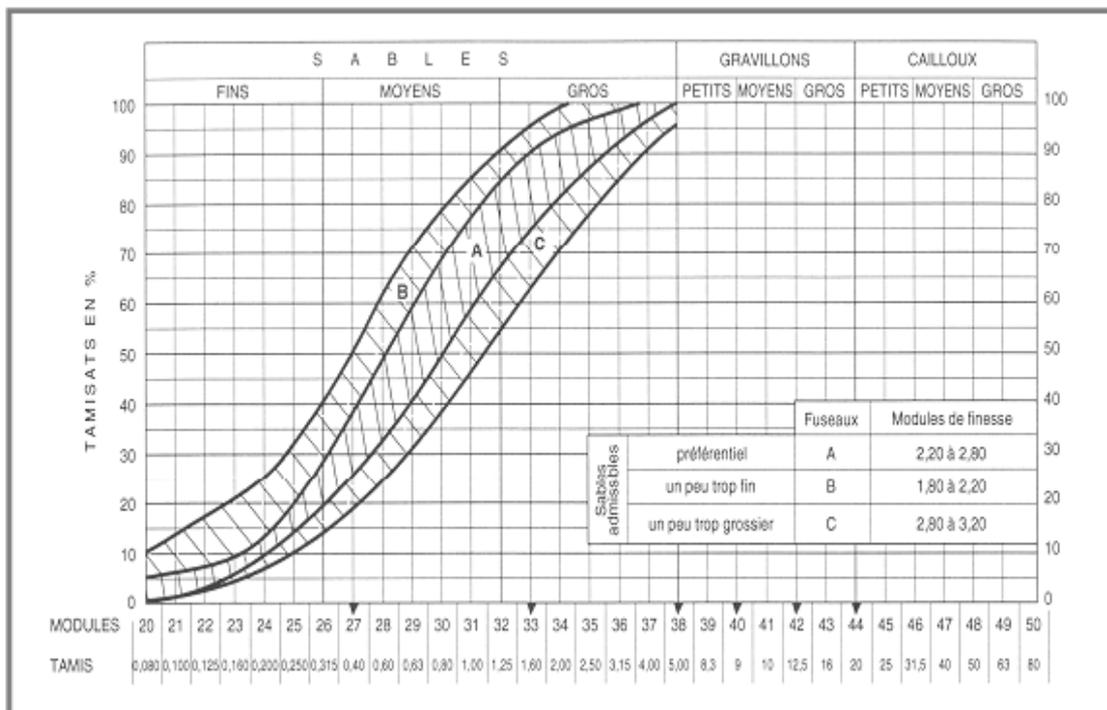


Figure I.2. Fuseaux proposés pour la granulométrie des sables à béton [5]

- la partie central B ($2.2 < M_f < 2.8$) convient bien pour obtenir une ouvrabilité satisfaisante et une bonne résistance avec des risques de ségrégation limités.
- la partie supérieur A ($1.8 < M_f < 2.2$) est à utiliser si l'on recherche particulièrement la facilité de mise en oeuvre au détriment probable de la résistance.
- la partie inférieur C ($2.2 < M_f < 3.2$) corresponde à des sable à utiliser pour la recherche des résistances élevées, mais on aura en générale, une moins bonne ouvrabilité et des risques de ségrégation.

Tableau I.5. La finesse des fuseaux admissibles

Sable admissible	Fuseau	Module de finesse
Préférentiel	B	2.2 à 2.8
Un peut trop fin	A	1.8 à 2.2
Un peut trop grossier	C	2.8 à 3.2

b. La caractérisation des fines [20]

Les normes s'accordent pour définir comme fines les éléments passant à un tamis de maille de 80 micros mètre. Pour désigner les éléments bruts inférieur à 80 μm , un filler est dit siliceux s'il contient plus de 90% de silice, et calcaire s'il contient au moins 90% de carbonate de calcium. Dans d'autre cas le filler est désigné par le nom de la roche d'origine. Le plus important c'est l'action de celle-ci qui est une action forte, complexe par ce qu'elles dépendent de leurs dimensions et de leur nature.

On a souvent l'habitude d'adopter un schéma simplificateur distinguant :

- les fines inertes
- les fines actives

- **Les fines inertes**

Elles sont par principes des fines de concassages qui adhèrent peu a la surface des grains de sable, ce qui permet de se débarrasser de l'excès par des traitements tels que : la ventilation à l'air et ne donnant pas d'effets physico-chimique nocifs.

Du fait de leur finesse, elles auront naturellement pour effet d'accroître l'eau de mouillage de sable. Leur présence donc devrait conduire à un accroissement de rapport Eau/Ciment à maniabilité égale.

Elles contribuent également au maintien de l'homogénéité des bétons et s'opposent à la ségrégation. A un certain degré de finesse, elles ont aussi des effets physico-chimiques favorables tels que :

- activité pouzzolanique c'est-à-dire combinaison avec la chaux provenant de l'hydratation de ciment avec certaines fines siliceuses.
- dispersion de la pate de ciment par des fines de même dimension avec création de germes cristallins ayant un effet d'accélération des réactions.

• **Les fines actives**

Elles sont celles qui présentent ce qu'on appelle des propriétés colloïdales. Leurs propriétés de surface sont dues non seulement à leur petite dimension mais aussi à leur microstructure et leurs charges électriques.

c. L'équivalent de sable (NFP 18-598)

L'essai consiste à caractériser un effet global de la quantité et de la nature des fines contenue dans un sable par un essai faisant appel aux phénomènes physiques de floculation qui caractérise les matières ayant un comportement colloïdal.

L'équivalent de sable est un rapport conventionnel volumétrique entre le grain fin et les autres. Il permet donc de caractériser l'importance des fines par une valeur numérique.

Plus l'équivalent de sable est élevé, moins le matériau contient d'éléments fins nuisibles, et les valeurs préconisées sont mentionnées dans le tableau ci-dessous.

Tableau I.6. Valeurs préconisées pour l'équivalent de sable

ES a vue	ES piston	Nature et qualité du béton
ES < 65	ES < 60	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité.
65 ≤ ES < 75	60 < ES < 70	Sable légèrement argileux de propreté admissible pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait.
75 ≤ ES ≤ 85	70 < ES < 80	Sable propre à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour des bétons de qualité.
E > 85	ES ≥ 80	Sable très propre : l'absence de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton.

d. Valeur au bleu de méthylène (NFP 18-595)

L'essai consiste à déterminer la quantité d'un colorant ; le bleu de méthylène nécessaire pour couvrir une couche de fines et plus précisément des particules argileuses d'un matériau maintenu en suspension dans l'eau.

Cet essai permet contrairement à l'ES de faire la distinction entre les différents types d'argile contenus dans un sable. Le bleu de méthylène étant absorbé préférentiellement par les argiles du type Montmorillonites (argiles gonflantes) et les matières organiques. Les autres argiles (Illites et Kaolinites) sont peu sensibles au bleu.

A titre indicatif, on présente dans ce tableau quelque valeur de bleu de méthylène

Tableau I.7. Valeur de bleu de méthylène [8]

Nature de matériau	Valeur de bleu
Montmorillonites	12 à 20
illite	5
Kaolinites	2
Argiles naturelle diverses	4 à 10
Argiles siliceuse concassées	0.5 à 1.5
Fines calcaires concassées	0 à 7

I.2.3. L'eau de gâchage

L'eau de gâchage est un ingrédient essentiel du béton et joue deux fonctions principales :

Confère au béton sa maniabilité à l'état frais et assure l'hydratation des grains de ciment.

La quantité d'eau utilisée ou plus précisément le rapport eau /ciment a une forte influence sur la porosité, la perméabilité, la résistance mécanique, la durabilité, la microstructure du béton et la cinétique d'hydratation du ciment. L'eau de gâchage peut avoir plusieurs origines, mais seule l'eau potable est présumée conforme aux exigences de la norme NF EN 1008, les autres eaux comme l'eau de mer ou les eaux naturelle de surface et eaux de rejet industriel, doivent être soumises à des essais de contrôle préliminaires. [6]

I.2.4. Les additions minérales [22]

I.2.4.1. Les additions calcaires

Il s'agit de produits obtenus par broyage fin de roches calcaire, inertes chimiquement, ils sont souvent dénommées fillers calcaires, en référence à leur rôle essentiel de remplissage de granulométrie.

L'effet fillers se manifeste lorsqu'un béton manque de fines pour être un empilement de compacité optimale. Par suite, l'ajout d'une fine complémentaire permet de réduire le dosage en eau à même ouvrabilité et donc augmente la compacité.

Pour être en conformité avec les normes, les additions calcaires doivent satisfaire un critère de teneur minimale en carbonates totaux et en carbonate de calcium (CaCO_3).

I.2.4.2. Mécanisme d'action des additions calcaires

Plusieurs piste sont à l'étude qui relèvent plus d'un aspect physique. En effet lors de la réaction d'hydratation du ciment, les hydrates se développent (en parle de germination) sur un support. Ce support est dans un béton ordinaire le grain de ciment lui-même. Il se produit donc un bouclier d'hydrates autour de chaque grain de ciment qui à terme modifier la cinétique de la réaction et l'homogénéité de la distribution spatial des hydrates.

Les additions calcaires viendraient jouer le rôle de support pour les hydrates, libérant de fait momentanément les grains de clinker. A court terme, la réaction est alors plus rapide et plus homogène. Cet effet peut cependant s'atténuer lorsque la réaction arrive à terme.

I.3. Caractérisation du béton à l'état frais

I.3.1. L'ouvrabilité

Propriété essentielle pour le béton elle est définie comme étant la qualité qui permet de garantir la facilité de sa mise en œuvre. Qualité sur laquelle repose différents aspects du béton une fois durci (résistance, état de parement, enrobage des armatures,...). Sachant que la tendance actuelle est tournée vers une multitude de techniques de bétonnage et de serrage (béton pompé, béton projeté, béton autocompactant, autonivelant,...).

I.3.1.1. Mesure de l'ouvrabilité

Des mesures simples et facilement exécutables au laboratoire ou sur chantier nous permettent de classer le béton suivant la plasticité qu'il présente.

- **Affaissement au cône d'Abrahms :** (Slump test)

La norme (**NF P 18-305**) définit les classes d'affaissement, notées F, P, TP et FL (Ferme, Plastique, Très Plastique et Fluide).

Tableau I.8. Classe de consistance (Slump test). [1,13]

Classe de consistance	Affaissement (cm)	Tolérance (cm)
-----------------------	-------------------	----------------

Ferme F	0 à 4	1
Plastique P	5 à 9	2
Très plastique TP	10 à 15	3
Fluide FL	> 16	

I.3.2. Mesure de la teneur en air occlus

Pour la mesure de l'air occlus dans le béton frais, on utilise la méthode dite «par pression ». Comme le seul élément compressible dans le béton frais est l'air occlus, la compression de l'air fait chuter la pression appliquée au béton frais. Cette diminution est proportionnelle à la quantité d'air présent dans le béton. Cet essai est effectué à l'aide d'un aéromètre conformément à la norme EN 12350-7.

La teneur en air entraîné est prescrite par une valeur minimale, La limite supérieure maximale pour la teneur en air est la valeur minimale spécifiée augmentée de 4 % en valeur absolue.

I.4. Caractérisation du béton à l'état durci

I.4.1. Résistance mécanique

La résistance mécanique a été longtemps considérée comme la caractéristique la plus essentielle pour le béton. Bien qu'elle soit étroitement liée à l'ouvrabilité, elle s'est vue attribuer une grande part en matière de recherche et développement.

I.4.1.1. Influence du dosage en ciment et du dosage en eau (E/C) [11]

Les deux facteurs sont essentiels à la confection du béton. Ils présentent deux effets totalement opposés sur sa résistance. Si l'augmentation du ciment favorise son accroissement, un surplus d'eau entraîne sa diminution.

Ces deux effets sont le plus souvent rencontrés sous forme de rapport (E/C) alors que plusieurs recherches et formulation faites par le passé utilisent (C/E) qui se traduit par une fonction de résistance linéaire et croissante, et une plage de variation usuelle plus annoncée (De 1,5 à 2,5 contre 0,4 à 0,66 pour E/C), voir figure (I.3).

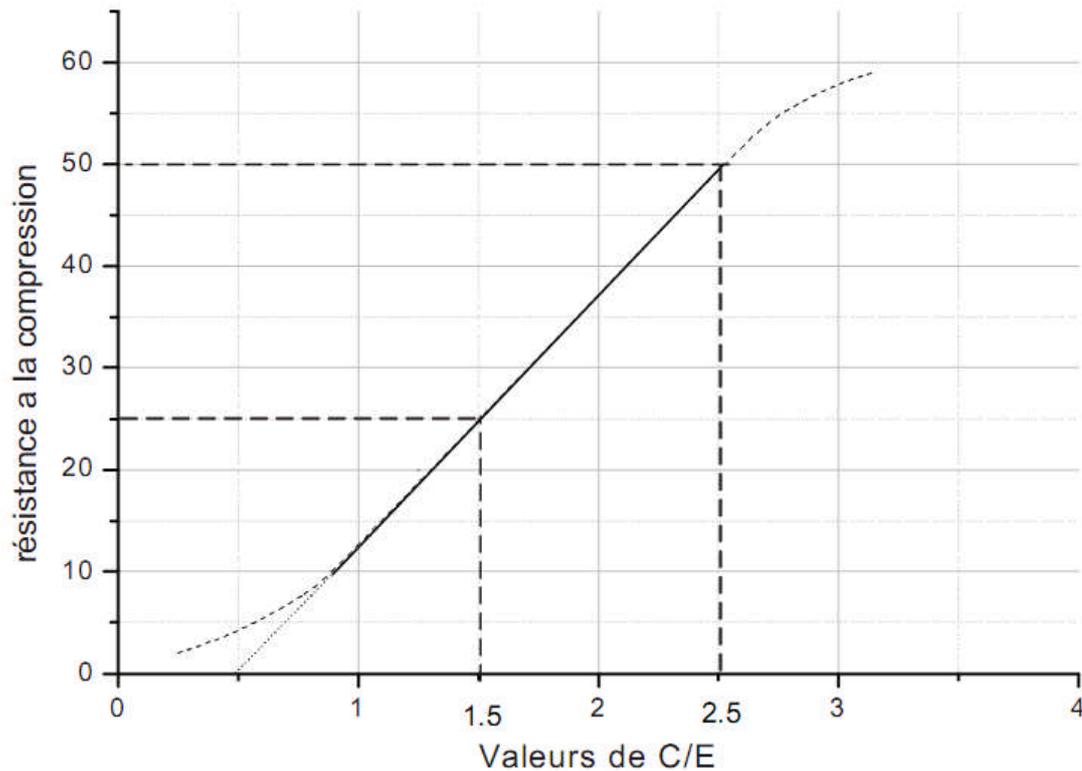


Figure I.3. Relation entre (C/E) et la résistance a la compression (f_c) d'après la formule de BOLOMY [11]

De nos jours la tendance n'est plus de fixer le dosage en ciment lors de passation de marché ou de contrat. Mais exiger une résistance caractéristique pour le béton une fois durci. Donc il appartient à l'entreprise chargée de la réalisation d'utiliser le dosage en ciment nécessaire. Par ailleurs un dosage minimal peut être exigé par le maître d'œuvre mais seulement afin de garantir l'ouvrabilité et l'étanchéité.

Nombreux sont les textes réglementaire qui spécifient des dosages minimaux en ciment tel que:

- la norme P 18 011 sur la classification des environnements agressifs qui spécifie les dosages suivant [1] :

$$C \geq \frac{550}{\sqrt[5]{D}} \text{ pour des environnements à moyenne agressivité.}$$

$$C \geq \frac{700}{\sqrt[5]{D}} \text{ pour des environnements à forte et très forte agressivité.}$$

D : Dimension maximale des granulats.

-Le BAEL 91 prescrit des dosages minimaux permettant d'obtenir des résistances caractéristiques dans les cas courants (CC) et les cas d'autocontrôle surveillé (AS) [12]:

Tableau I.9. Dosage en ciment [12]

classe de ciment	32,5 et 32,5 R		42,5 et 42,5 R	
	CC	AS	CC	AS
D= 16max	300 kg/m ³			
20	350 kg/m ³	325 kg/m ³	325 kg/m ³	300 kg/m ³
25	à justifier	400 kg/m ³	375 kg/m ³	350 kg/m ³
30	à justifier	non admis	à justifier	à justifier

I.4.1.2. Influence de la granularité

Moins influente que le dosage en ciment ou le dosage en eau, la composition granulométrique du mélange n'intervient que d'une manière relativement faible sur la plupart des propriétés du béton.

Sauf pour la résistance à la compression où nous pouvons voir (fig. 2.5) que pour des valeurs de (G/S) supérieures à «2.2 » la résistance à la compression augmente considérablement, une augmentation certainement positive mais prise sur le compte de l'ouvrabilité, parce que en pratique on ne dépasse pas les valeurs de 1.5 à 1.6 pour avoir un béton ouvrable.[11]

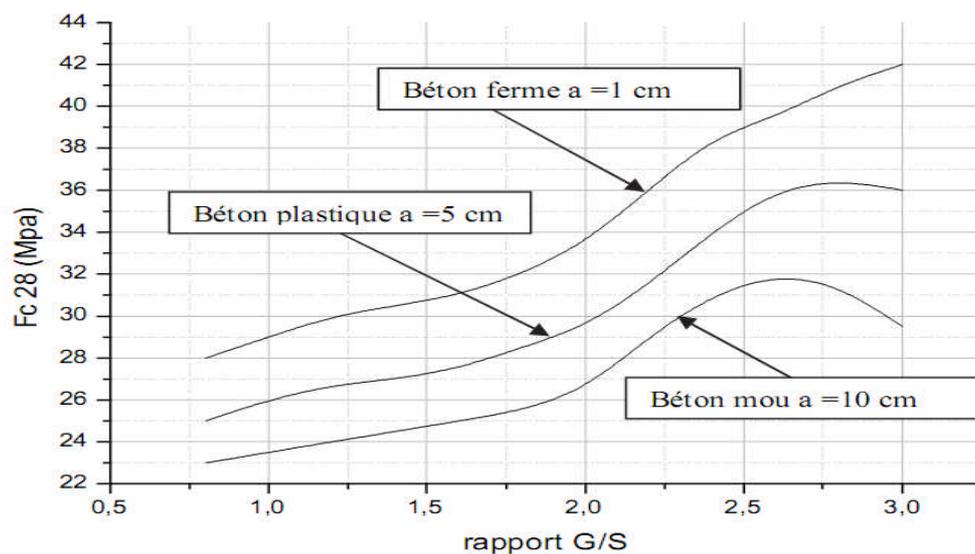


Figure I.4. Variation de la résistance en compression à 28 jours en fonction du rapport G/S [11]

I.4.1.3. Influence de la dimension maximale des granulats D

L'utilisation de granulats de dimension maximale contribue de façon très significative à l'augmentation de la résistance du béton. Mais cela reste dans les limites de la faisabilité, parce que le choix de D max reste conditionné par :

- L'ouvrabilité demandée ;
- Les dimensions de l'ouvrage et l'épaisseur des pièces ;
- L'espacement des armatures ;
- L'enrobage des armatures.

I.4.2. Les retraits

Par définition, un retrait est la diminution d'une ou plusieurs dimensions d'un matériau par suite de solidification, de refroidissement ou de transformation chimique.

Ce concept, transposé au cas des bétons et mortiers, traduirait alors les changements volumiques observés au cours de l'hydratation de ces matériaux. Il est à noter que ces réductions de volume peuvent intervenir en absence de toute charge appliquée. Ceci met alors en cause la composante chimique et plus précisément le départ d'eau en interne (par transformation, diffusion. . .) et/ou en externe (par évaporation, séchage. . .).

Étant donné que le durcissement du béton est un processus continu dans le temps, il sera ainsi judicieux de suivre ces réductions dimensionnelles au fur et à mesure que les réactions d'hydratation aient lieu. Ceci nous amène à définir les cinq classes de retrait suivantes, allant du très jeune âge jusqu'au long terme. [17]

I.4.2.1. Retrait endogène

L'origine du retrait endogène est inévitable puisqu'il s'agit de l'hydratation même du ciment. Les déformations qui en résultent sont auto-générées par le matériau. La répartition des déformations se fait alors de façon homogène et isotrope à l'échelle macroscopique dans tout le volume de l'éprouvette et la seule possibilité de fissure serait liée aux conditions aux limites qui viendraient bloquer ou empêcher ces déformations.

Toutefois, une distinction peut être faite au niveau de ce premier type de retrait :

Contraction Le Chatelier ou Retrait Chimique

En faisant un bilan volumétrique à un instant donné de l'hydratation, nous pouvons nous apercevoir que le volume absolu des hydrates formés est inférieur au volume absolu des produits initiaux (eau et ciment anhydre). Ce phénomène, appelé *retrait chimique* ou composante chimique du retrait endogène, a été découvert dès 1900, par H. Le Chatelier et connu depuis sous le nom de *Contraction Le Chatelier*. Il est à noter que ce retrait résulte à la

fois de l'hydratation directe des composants principaux du clinker et des réactions secondaires avec le gypse, incluant la formation de l'ettringite.

Notons que ces variations dans le volume absolu auront une conséquence directe sur le volume apparent, et ces effets dépendront principalement de l'évolution des propriétés mécaniques (notamment en termes de porosité et rigidité). [16]

L'auto-dessiccation

En condition isotherme et en supposant qu'il n'y a pas d'échanges hydriques avec l'extérieur, la poursuite de l'hydratation dans le matériau une fois rigidifié a pour conséquence directe le remplissage de la porosité de la pâte par les hydrates et la diminution de la teneur en eau dans les pores. En raison de l'hétérogénéité de la microstructure, cette diminution du volume absolu devient incompatible avec les déformations mécaniquement admissibles par le squelette minéral naissant. Un volume gazeux apparaît alors dans la porosité de la pâte initialement saturée en eau. La création de ces vides fait apparaître des interfaces liquide-gaz (appelées ménisques) dans les pores, ce qui provoque la mise en traction de l'eau et la mise en compression du squelette solide. Il en résulte alors une diminution de la pression de vapeur d'eau en équilibre interne avec la pâte. Ce phénomène, conséquence directe de la contraction Le Chatelier, est appelé *auto-dessiccation*. Ce type de retrait est accentué dans les bétons à microstructures fines dans lesquels la taille réduite des pores favorise les dépressions capillaires. [17]

I.4.2.2. Retrait plastique

Dans le paragraphe précédent, il a été montré que le retrait endogène commençait dès le gâchage du ciment et continuait longtemps après prise (dans un matériau poreux avec des phases solide et gazeuse connectées). Toutefois, avant la percolation de la phase solide, un autre type de retrait peut avoir lieu. Il est relatif à l'évaporation de l'eau à la surface du béton encore frais et appelé *retrait plastique*. Il est ainsi le résultat d'un déséquilibre entre le flux d'eau évaporée à la surface et l'apport d'eau provenant de la masse de béton en dessous (flux d'eau ressué). Ceci conduit alors à une forte contraction de la pâte qui fissure la surface externe. Ces fissures sont par conséquent très ouvertes en surface et assez fermées en profondeur, à la manière de la fissuration des argiles suite au dessèchement. Toutefois, une cure adaptée aux conditions climatiques permet généralement de remédier à ce problème.

Il est à noter aussi que ces déformations plastiques sont directement liées aux cinétiques d'hydratation. Ainsi, une réaction plus rapide génère encore plus d'hydrates qui accélèrent la prise et diminuent la quantité d'eau ressuée. [15]

I.4.2.3. Retrait thermique

Il est dû aux gradients de température qui se manifestent dans le béton lors d'un déséquilibre calorifique. Ces variations de température interne sont induites soit par une source de chaleur externe (d'origine naturelle, climatique ou industrielle par traitement thermique ou cure) soit par une source interne, comme celle issue de la nature exothermique des réactions d'hydratation. La quantité de chaleur interne produite par l'hydratation peut être assez importante surtout dans les ouvrages massifs (cas des barrages, blocs de fondations. . .) où la capacité de conduction thermique du béton est faible comparée aux cinétiques d'hydratation. Ceci conduit à un fort gradient entre le cœur du béton, où la température est assez élevée, et l'extérieur, qui a commencé à se refroidir. La température due à la chaleur d'hydratation peut atteindre les 80°C dans le cas d'ouvrage massif. Cette compétition entre la dilatation thermique à l'intérieur et la contraction à l'extérieur, à un moment où le béton est déjà rigide, entraîne la création de contraintes supplémentaires en traction. Si ces contraintes dépassent la résistance limite du matériau, une fissuration se produit. Selon la nature de la structure mise en jeu, deux types de fissuration thermique peuvent être ainsi distingués :

- *La fissuration de peau* : Ces fissures sont toutefois peu ouvertes vu que la distance séparant deux fissures principales consécutives est de l'ordre de grandeur de la profondeur de la zone de traction, qui ne peut excéder le quart de l'épaisseur de la structure.
- *La fissuration localisée* : des fissures localisées peuvent avoir lieu. Elles sont largement espacées par rapport aux fissures de peau.

Notons que cette grande variabilité dans l'espacement et l'ouverture des fissures est plutôt liée à la fonction critique des conditions aux limites mécaniques de la structure qu'aux paramètres thermiques et mécaniques du matériau. [18]

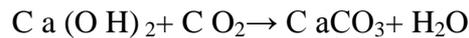
I.4.2.4. Retrait de dessiccation

La diminution de la teneur en eau dans le cas du retrait d'auto- dessiccation était liée à la consommation interne de l'eau par l'hydratation. Dans le cas du retrait de dessiccation, elle sera plutôt attachée au départ de l'eau vers l'extérieur par évaporation. Le changement dans l'humidité relative externe qui est initialement plus faible que celle à l'intérieur du béton conduit à une diminution de la pression de vapeur interne. Cette dernière diminue, à son tour, la pression de la phase liquide par évaporation (changement de phase liquide-vapeur). Cette modification des phases peut être considérée comme quasi- instantanée par rapport au temps de diffusion de la vapeur d'eau à travers le matériau. Par conséquent, les cinétiques de retrait de dessiccation seront principalement gouvernées par cette lente diffusion structurale qui dépendra de la distribution des tailles des pores (D.T.P.) et des dimensions de l'échantillon.

Le retrait de séchage sera alors considéré comme un retrait *apparent* relativement à la valeur moyenne du degré de séchage dans le volume. Ce degré varie selon l'épaisseur entre une valeur maximale à la surface et une minimale au centre. [17]

I.4.2.5. Retrait de carbonatation

Lors de la réaction d'hydratation, la chaux qui se développe en forme de portlandite peut réagir avec le dioxyde de carbone de l'air (présent dans l'eau par dissolution) pour donner du carbonate de calcium et de l'eau selon la réaction suivante :



L'évaporation de l'eau libérée par cette réaction peut causer, par les mêmes mécanismes de dépressions capillaires, des déformations de retrait. Cette réaction reste toutefois assez lente et produit un faible retrait pour les humidités relatives extrêmes (à saturation et pour une H.R. inférieure à 25%). Le maximum d'effet est enregistré pour une H.R. aux alentours de 50%. Les différentes formes de CaCO_3 produites par cette réaction généralement en calcite, mais aussi en aragonite en milieu marin et plus rarement en vaterite dans des conditions d'H.R. particulièrement faibles et sous la forme instable contribuent d'un autre côté à améliorer la stabilité volumique du béton vis-à-vis des changements d'humidité par densification de la surface et réduisent (si cette couche est uniforme) ainsi la perméabilité de ce dernier (porosité de surface réduite).

Ce même phénomène peut avoir lieu, en plus du jeune âge, après quelques années par la même réaction décrite ci-haut. Dans ce cas, la source de dioxyde de carbone n'est plus l'eau, mais l'air qui est en contact avec la surface du béton. Les nouveaux produits ainsi formés vont occuper moins d'espace que les réactifs de base, ce qui peut favoriser le développement de fissures existantes. Cette forme de retrait est particulièrement présente dans les atmosphères à forte teneur de gaz carbonique. Il est à noter qu'en plus des déformations de retrait, la carbonatation diminue considérablement le pH de la phase aqueuse du béton en passant de 12,6 à moins de 9. Ceci peut entraîner la corrosion des renforcements en acier dans le cas des bétons armés par dépassivation. D'autre part, la carbonatation diminue aussi le rapport C/S des $C-S-H$. [17]

I.5. Influence des fines sur les propriétés des bétons [23]

Dans le but de d'étudier l'influence des fines sur les propriétés d'un béton ordinaires, une étude à été mené au sein du LMDC (laboratoire des matériaux de construction) de l'université Mentouri de Constantine.

Trois bétons (B1, B2, B3) ont été formulé avec du sable lavé qui est tamisé à 80 micro mètre au quel ils ont introduit des fillers en différentes proportions (0, 5, 10,20%). L'eau de gâchage est calculée de sorte à obtenir un affaissement au cône d'une valeur voisine de 10 cm.

La composition de base des bétons utilisée est celle de Dreux- Gorisse, le dosage en ciment est pris égale à 350 Kg/m³.

Les constituants de ces trois bétons sont :

Tableau I.10. Granulats utilisés pour la confection des différents bétons

Granulats	Bétons		
	B ₁	B ₂	B ₃
0/3	X	X	X
3/8	X	X	X
8/15	X		X
15/25	X	X	X
<80µm	X	X	X

✓ **Résultats obtenus**

Les résultats obtenus sont schématisés sur les figures ci-dessous

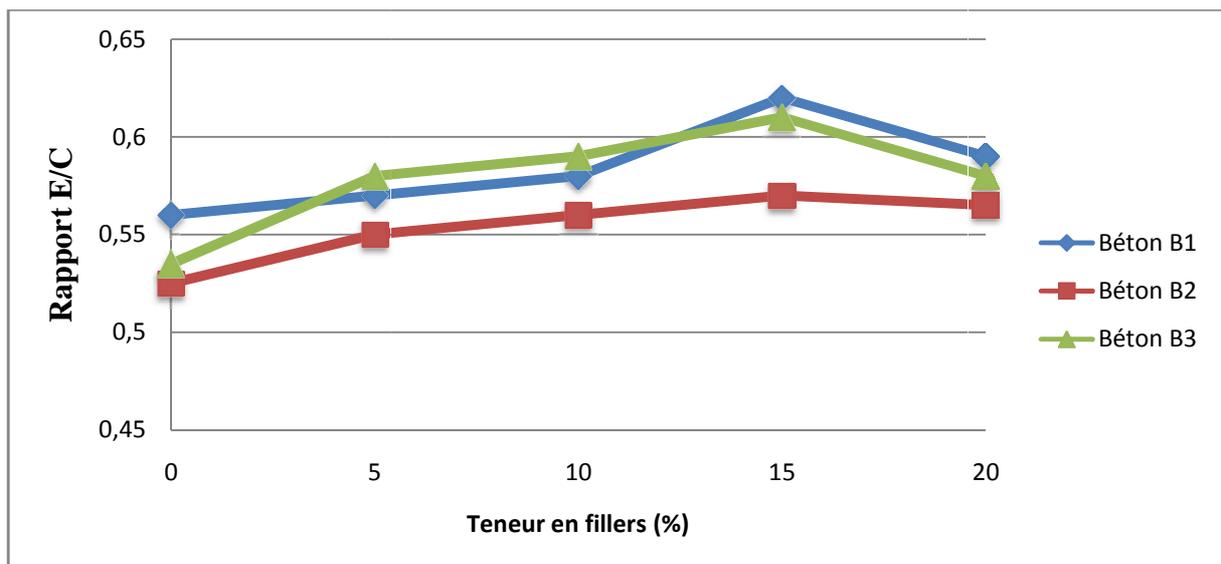


Figure I.5. Rapport E/C en fonction de la teneur en fillers [23]

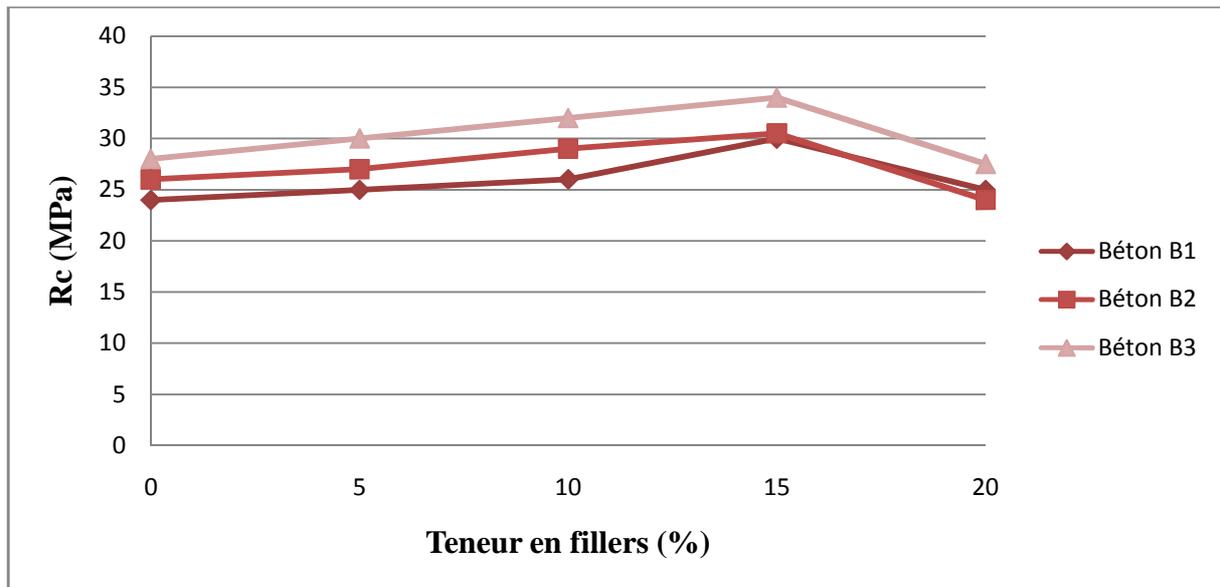


Figure I.6. Résistance à la compression en fonction de la teneur en fillers [23]

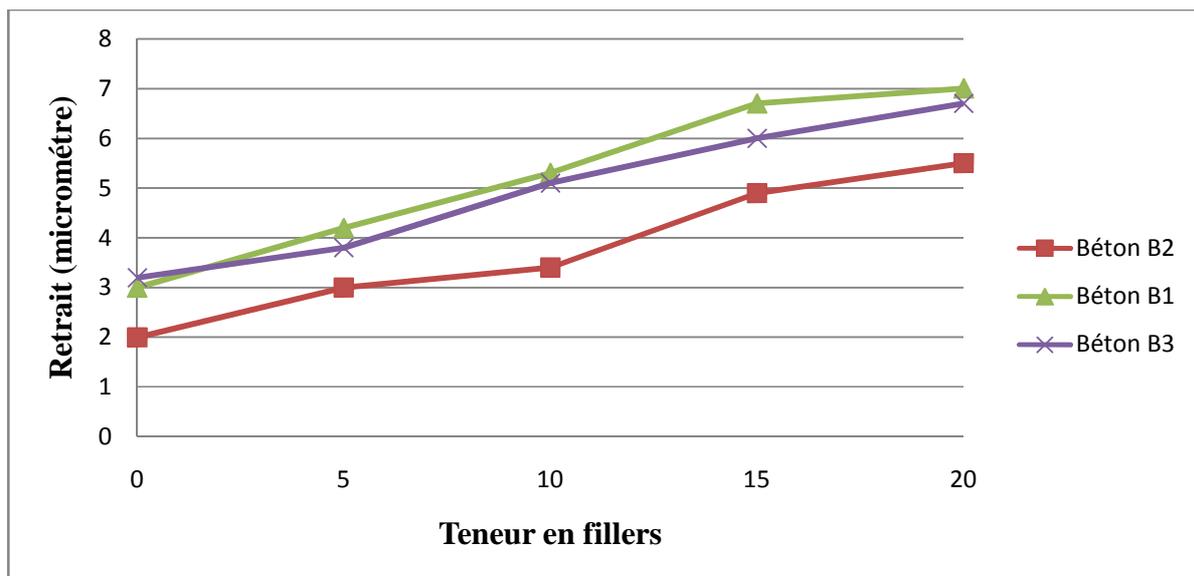


Figure I.7. Retrait des bétons à 28 jours en fonction de la teneur en fillers [23]

A partir des résultats de ce travail [23], ils ont pu donner un certain nombre de constatations telles que :

- Le dosage en eau est une fonction croissante de la teneur en fillers jusqu'à des teneurs de l'ordre de 15% puis devient décroissante (Figure I.5).
- les densité des bétons sont assez basses et varient entre 2.2 et 2.45 t/m³, ce qui se traduit probablement par une porosité élevée des bétons.
- L'optimum de résistance à la compression est obtenu pour une teneur en fillers de l'ordre de 15% (Figure I.6).

- Le dosage en fines augmente le retrait du béton et que les bétons de granulométrie continue présente un retrait supérieur d'environ 35% par rapport à celui des bétons de granulométrie discontinue (Figure I.7).

La conclusion obtenue est que le béton confectionné avec des granulats calcaire présente une ouvrabilité, les éléments fins contribuent à la cohésion du béton, La teneur optimale en fillers qui permet d'obtenir des résistances mécanique les plus élevées est de l'ordre de 10 à 15%.

I.5. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons donné quelques généralités sur les constituants principales d'un béton ordinaire et les critères à demander pour assurer un bon comportement du béton à l'état frais et l'état durci, le chapitre suivant présente les différentes méthodes de formulation d'un béton ordinaire.

CHAPITRE II
METHODES DE COMPOSITIONS DE BETON

II.1.Introduction

Entre partisans de la granularité continue et la granularité discontinue les chercheurs dans la formulation des bétons se sont succédés avec chacun sa théorie et chacun son approche. Chacun essaye de justifier ces raisons, or si pour une granularité continue on favorise des bétons plus plastiques et de bonne ouvrabilité. Une granularité discontinue conduit à des bétons à maximum de gros éléments et à minimum de sable, certes plus résistant mais moins ouvrables. Dilemme éternel auquel est toujours confrontée la formulation du béton. [1]

Une méthode de composition du béton pourra être considérée comme satisfaisante si elle permet de réaliser un béton répondant aux exigences suivantes :

- Le béton doit présenter, après durcissement, une certaine résistance à la compression.
- le béton frais doit pouvoir facilement être mis en œuvre (ouvrabilité) avec les moyens et méthodes utilisés sur le chantier.
- le béton doit présenter un faible retrait et un fluage peu important.
- le coût du béton doit rester le plus bas possible.

Dans le passé, pour la composition du béton, on prescrivait des proportions théoriques de ciment, d'agrégat fin et d'agrégat grossier. Mais l'élaboration des différents types de ciment actuels ayant fait des progrès considérables, de nombreux chercheurs ont exprimé des formules en rapport avec les qualités recherchées :

- minimum de vides internes, déterminant une résistance élevée.
- bonne étanchéité améliorant la durabilité.
- résistance chimique.
- résistance aux agents extérieurs tels que le gel, l'abrasion, la dessiccation.

La formulation d'un béton doit intégrer avant tout les exigences de la norme (NF EN 206-1), laquelle, en fonction de l'environnement dans lequel sera mis en place le béton, sera plus ou moins contraignante vis-à-vis de la quantité minimale de ciment à insérer dans la formule ainsi que la quantité d'eau maximum tolérée dans la formule. De même, à chaque environnement donné, une résistance garantie à 28 jours sur éprouvette sera exigée aux producteurs, pouvant justifier des dosages de ciment plus ou moins supérieur à la recommandation de la norme, et basée sur l'expérience propre à chaque entreprise, laquelle étant dépendante de ses matières premières dont la masse volumique peut varier, notamment celle des granulats.

D'autres exigences de la norme (NF EN 206-1) imposant l'emploi de ciment particulier en raison de milieu plus ou moins égressifs, ainsi que l'addition d'adjuvants conférant des propriétés différentes à la pâte de ciment que se soit le délai de mise en œuvre, la plasticité, la quantité d'air occlus, etc.

II.2. Quelques méthodes de formulation de béton

Plusieurs méthodes de formulation existent, les différences principales entre ces méthodes résident entre autre dans la définition de la courbe granulométrique de référence, selon que l'on incluse ou non le ciment dans les matières fines. Pourtant, toutes ont un point commun, elles dépendent de paramètres qui sont intimement reliés aux caractéristiques morphologiques des matériaux utilisés (nature et qualité des granulats, type de liant, etc.).

C'est pourquoi, connaissant la nature qui est très variable des composants du béton, il est absolument nécessaire lors de la définition d'une composition de béton de compléter le calcul théorique des quantités des divers composants par un essai de gâchage permet de contrôler que les propriétés du béton frais sont conformes aux exigences, ou sinon d'effectuer les corrections nécessaires.

Dans ce qui suit nous donnons un aperçu général de quelque méthode de formulation de béton au premier et enfin en présentons d'une façon plus détaillée les étapes de la méthode de formulation de Dreux-Gorisse que nous exploitons dans notre étude expérimentale.

II.2.1. Méthode de BOLOMEY

Pour avoir une compacité maximum du mélange sec, Bolomey propose une courbe granulométrique de référence, et qui répond à la formule :

$$p = A + (100 - A) \sqrt{d/D}$$

d : Diamètre passoire.

p : pourcentage de grains passant à la passoire de diamètre d.

D : Diamètre du plus gros granulats.

A : Varie de 8 à 16, sa valeur est d'autant plus élevée que le dosage en ciment est plus fort.

Le principe est de construire une composition granulaire à partir des classes de granulats disponibles et dont la courbe granulométrique soit la plus proche que possible de la courbe de référence. Cette méthode aboutit généralement à une granularité continue. [1]

II.2.2. Méthode D'Abrams

Le principe de cette méthode est de construire une composition granulaire, ciment compris, basée sur l'obtention d'un module de finesse global, à partir des différents modules de finesse des classes de granulats disponibles.

ABRAMS propose des valeurs optimales du module de finesse globale en fonction du dosage en ciment et qui sont supposées réduire au minimum les vides dans le mélange.

Tableau II.1. Valeurs optimales du Module de finesse d'après ABRAMS [1]

Dosage en Ciment (kg/m ³)	Dimension maximale D des granulats						
	10	15	20	25	30	35	40
275	4,05	4.45	4.85	5.25	5.60	5.80	6.00
300	4,20	4.60	5.00	5.40	5.65	5.85	6.20
350	4,30	4.70	5.10	5.50	5.73	5.88	6.30
400	4.40	4.80	5.20	5.60	5.80	5.90	6.40

II.2.3. Méthode de FAURY

La courbe de référence proposée par FAURY favorise une loi de granulation de type continue. Il s'inspire d'une théorie de Caquot relative à la compacité d'un granulat de dimension uniforme correspondant à un serrage moyen. [14]

Loi fonction de $\sqrt[5]{D}$, FAURY adopta une échelle des abscisses graduée en $\sqrt[5]{D}$ pour avoir une courbure linéaire, puis adopta un point de brisure pour distinguer les grains fins et moyens des gros. Ce point aura pour abscisse (D/2) et pour ordonnée la valeur Y qui se calcul par la formule suivante :

$$Y = A + 17\sqrt[5]{D} + \frac{B}{\frac{R}{D} - 0.75}$$

B : Varie entre 1 et 2 selon que le béton est ferme ou mou.

R : Rayon moyen du moule R= surface / périmètre.

A : valeurs données par le tableau suivant :

Tableau II.2.Valeurs de A. [11]

	Sables et graviers roulé seuls	sables roulés et graviers de broyage usuels	Sables et graviers de broyage usuels
Consistance très fluide, mise en œuvre sans serrage	32 et au-dessus	34 et au-dessus	38 et au-dessus
Consistance fluide pour faible serrage	30-32	32-34	36-38
Consistance molle pour serrage moyen	28-30	30-32	34-36
Consistance ferme pour serrage soigné	26-28	28-30	32-34
Consistance très ferme pour serrage puissant	24-26	26-28	30-32
Consistance de terre humide, serrage très puissant	22-24	24-26	28-30
Serrage exceptionnellement puissant	Au dessous de 22 (à déterminer)	Au dessous de 24 (à déterminer)	Au dessous de 28 (à déterminer)

II.2.4.Méthode de VALETTE

Méthode essentiellement expérimentale, elle nécessite un nombre de calculs préparatoires. Plus connue sous la désignation de « dosage des béton à compacité maximale », « dosage des béton à minimum de sable » ou « dosage des béton à granularité discontinue ».

Son principe est de mesurer le volume de vide d'un sable mouillé, et le comblé par un volume égale de pâte pure de ciment. On ajoute en suite le maximum de gravier mouillé compatible avec l'ouvrabilité désirée. [11]

II.2.5. Méthode de JOISEL

Inspirée comme celle de FAURY de la théorie de CAQUOT, la méthode JOISEL est plus généralisant. Il considère que la loi de granulation conduisant à la compacité maximale est fonction de $\sqrt[m]{D}$, où « m » dépend de la compacité avec laquelle se serre un granulat de dimensions uniforme suivant les moyens de serrage, « m » peut alors varier de 3 à 10.

En utilisant $\sqrt[m]{D}$ comme graduation des abscisses JOISEL utilisa une courbe de référence de forme linéaire. [11]

II.2.6.Méthode de BARON et LESAGE [9]

Méthode purement expérimental, fondée sur l'utilisation du maniabilimètre. Son principe est de déterminer en premier lieu par approximations successives de l'ensemble des proportions des constituants solide inertes qui correspondent à l'écoulement le plus rapide au maniabilimètre. Puis faire varier le dosage en eau jusqu'à l'obtention de l'écoulement désiré.

II.2.7.Méthode des volumes absolus

La méthode des volumes absolus est une méthode de pré formulation adaptée au béton. Elle permet la composition de mélanges dont le volume total est précisé en amont. Ses qualités lui confèrent un caractère à la fois précis et aléatoire.

Elle permet de varier chaque volume VX de ces composants sans pour autant changer le volume total VT.

Il est habituel de calculer les quantités des constituants pour obtenir un mètre cube de béton.

Alors, si E, C, G₁, G₂ sont respectivement les masses d'eau, de ciment, de granulats fins et de gros granulats, on obtient pour un mètre cube :

$$\frac{E}{1000} + \frac{C}{1000 \rho_c} + \frac{G_1}{1000 \rho_1} + \frac{G_2}{1000 \rho_2} = 1$$

Où ρ et le suffixe approprié représentant la densité de chacun des matériaux.

Les calculs donnent les valeurs de E/C, C/ (G₁+G₂) et G₁/G₂, à partir desquelles les valeurs de E, C, G₁ et G₂ peuvent être obtenues.

L'humidité que peut contenir les granulats peut être prise en compte simplement en la retranchant et la rajouter au volume de l'eau, les masses volumiques absolues des matériaux humides seront remplacées par les masses volumiques absolues sèches.

Cette opération peut être négligée lorsqu'il s'agit de petites gâchées et dont les composants son préparés par pesée.

L'ajout d'autres composants supplémentaire est introduit dans l'équation comme c'est le cas des autres composants, le principe est que le volume reste constant.

Lorsqu'il y a de l'air entrainé dans le béton et que son pourcentage est , par exemple ,de a% du volume de béton ,la partie droite de l'équation devient :

$$1*[1-a/100]$$

Le seul inconvénient que peut altérer la précision de cette méthode réside dans l'évaluation du volume de l'air occlus que va contenir le mélange après compactage. Donc une bonne expérience de l'opérateur et un travail préliminaire sont nécessaires.

II.3.Méthode DREUX- GORISSE [9,24]

Méthode pratique élaborée sur la base d'une synthèse des méthodes existantes. A l'aide de tableaux et d'abaques, la détermination des proportions du béton se fait de manière graphique.

II.3.1.Principe de la méthode de DREUX- GORISSE

Déterminer en fonction des critères de maniabilité et de résistance définis par le cahier des charges, la nature et les quantités de matériaux nécessaires à la confection d'un mètre cube de béton (eau E, ciment C, sable S et gravier g en kg/m^3).

II.3.2.Définition du cahier des charges

Il s'agit de définir, en fonction du type d'ouvrage à réaliser, les paramètres nécessaires à la mise en œuvre du béton et à la stabilité à court et long terme de l'ouvrage.

Les paramètres principaux devant être définis sont : la maniabilité et la résistance du béton, la nature du ciment et le type de granulats.

II.3.2.1.Critère de maniabilité

La maniabilité est caractérisée, entre autre, par la valeur de l'affaissement au cône d'Abrams (Aff.). Elle est choisie en fonction du type d'ouvrage à réaliser, du mode de réalisation et des moyens de vibration disponibles sur chantier (Tableau II.3).

Tableau II.3.Evaluation de l'ouvrabilité par référence à l'affaissement au cône ou au test d'ouvrabilité.

Plasticité	serrage	Affaissement en cm	Nombres de chocs test C.E.S
Béton très ferme	Vibration puissante	0 à 2	>60
Béton ferme	Bonne vibration	3 à 5	30 à 50
Béton plastique	Vibration courante	6 à 9	15 à 25
Béton mou	Piquage	10 à 13	10 à 25
Béton liquide	Léger piquage	≥ 14	<10

II.3.2.2. Critère de résistance

Le béton doit être formulé pour qu'à 28 jours sa résistance moyenne en compression atteigne la valeur caractéristique σ'_{28} .

Cette valeur doit, par mesure de sécurité, être supérieure de 15 % à la résistance minimale en compression f_{c28} nécessaire à la stabilité de l'ouvrage.

II.3.2.3. Choix du ciment

Le choix du type de ciment est fonction de la valeur de sa classe vraie σ'_c et des critères de mise en œuvre (vitesse de prise et de durcissement, chaleur d'hydratation, etc...). La classe vraie du ciment est la résistance moyenne en compression obtenue à 28 jours sur des éprouvettes de mortier normalisé. Le cimentier garantit une valeur minimale atteinte par au moins 95 % des échantillons (dénomination normalisée spécifiée sur le sac de ciment). La correspondance entre classe vraie du liant et valeur minimale garantie par le fabricant est donnée dans le tableau 2.

Tableau II.4. Correspondance entre classe vraie et dénomination normalisée des ciments.

Dénomination normalisée	32,5 MPa	42,5 MPa	52,5 MPa
Classe vraie σ'_c	45 MPa	55 MPa	> 60 MPa

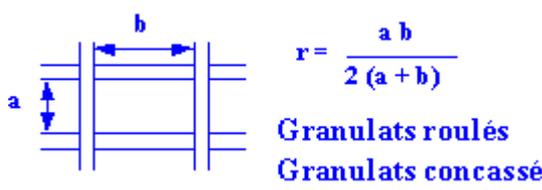
Exemple : la classe vraie du ciment CEM II/B-S 32.5 R est de 45 MPa.

II.3.2.4. Choix des granulats

Les granulats à utiliser dans la fabrication du béton doivent permettre la réalisation d'un squelette granulaire à minimum de vides. Il faut en conséquence utiliser des granulats de toutes tailles pour que les plus petits éléments viennent combler les vides laissés par les plus gros.

Pour permettre une mise en œuvre correcte du béton, il est important que la taille des plus gros granulats D_{max} ne s'oppose pas au déplacement des grains entre les armatures métalliques du ferrailage. Le tableau (II.5) donne une borne supérieure de D_{max} à respecter en fonction de la densité du ferrailage, des dimensions de la pièce à réaliser, et de la valeur de l'enrobage des armatures. D_{max} est le diamètre des plus gros granulats entrant dans la composition du béton. Sa valeur peut être lue sur la feuille d'analyse granulométrique des granulats correspondants.

Tableau II.5. Détermination de D_{max} en fonction du ferrailage et de l'enrobage.

Caractéristiques de la pièce à bétonner		D_{max}
e_h	Espacement horizontal entre armatures horizontales	$\leq e_h / 1,5$
e_v	Espacement vertical entre lits d'armatures horizontales	$\leq e_v$
d	Enrobages des armatures : Ambiance très agressive ≥ 5 cm Ambiance moyennement agressive ≥ 3 cm Ambiance peu agressive ≥ 3 cm Ambiance non agressive ≥ 1 cm	$< d$
r	Rayon moyen du ferrailage  $r = \frac{a b}{2 (a + b)}$ Granulats roulés Granulats concassés	$\leq 1,4 r$ $\leq 1,2 r$
h_m	Hauteur ou épaisseur minimale	$\leq h_m / 5$

II.3.3. Formulation de Dreux- Gorisse

La formulation de Dreux-Gorisse permet de déterminer les quantités optimales des matériaux (eau E, ciment C, sable S, gravillon g et gravier G) nécessaires à la confection d'un mètre cube de béton conformément au cahier des charges.

Plusieurs étapes de calcul successives sont nécessaires à l'obtention de la formulation théorique de béton :

II.3.3.1. Dosage en ciment

On commence par évaluer approximativement le rapport C/E en fonction de la résistance moyenne souhaitée

Le rapport C/E est calculé grâce à la formule de Bolomey :

$$\sigma'_{28} = G' \sigma'_c (C/E - 0.5)$$

Avec :

σ'_{28} = Résistance moyenne en compression du béton à 28 jours en MPa

σ'_c = Classe vraie du ciment à 28 jours en MPa

C = Dosage en ciment en kg par m^3 de béton

E = Dosage en eau total sur matériau sec en litre par m^3 de béton

G' = Coefficient granulaire (Tab.4) fonction de la qualité et de la dimension maximale des granulats.

Tableau II.6. Coefficient granulaire G' en fonction de la qualité et de la taille maximale des granulats D_{max} .

Qualité des granulats	Dimension D_{max} des granulats		
	Fins $D_{max} \leq 16$ mm	Moyens $25 \leq D_{max} \leq 40$ mm	Gros $D_{max} > 63$ mm
Excellente	0,55	0,60	0,65
Bonne, courante	0,45	0,50	0,55
Passable	0,35	0,40	0,45

Nota : ces valeurs de G correspondent à des bétons de plasticité courante ($4\text{cm} \leq A \leq 8\text{cm}$)

On ajoute éventuellement aux valeurs de G ainsi une petite correction :

-pour les bétons fermes ($A \leq 3\text{cm}$) : -0.03

-pour les bétons mous ($A \geq 9\text{cm}$) : +0.03

Dosage minimal

En fonction de l'environnement, les dosages minimaux prescrits par le fascicule 65A et le cahier des clauses techniques générales appliqués aux marchés publics pour l'exécution des ouvrages en béton armé ou précontraint, sont les suivants :

-en béton armé exposé à un milieu sans agressivité particulier : $C = \frac{550}{\sqrt[5]{D}}$

-en béton armé exposé à un milieu sans agressivité particulière mais comportant un parement fin : $C = \frac{600}{\sqrt[5]{D}}$

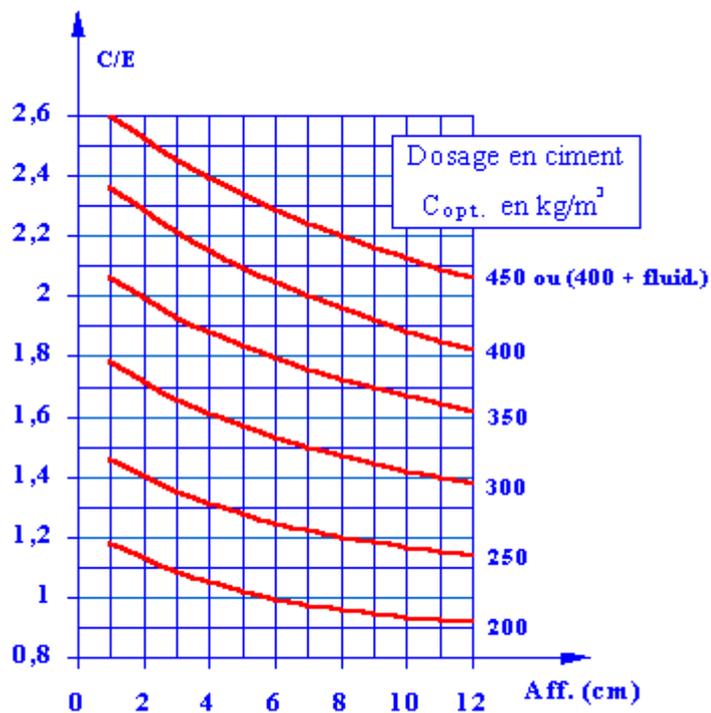
-en béton armé exposé à des conditions agressives sévères ou coulé sous l'eau, ainsi en béton précontraint : $C = \frac{700}{\sqrt[5]{D}}$

Voir le tableau suivant (les dosages auxquels conduisant l'application de la formule précédente ainsi les valeurs de $\sqrt[5]{D}$ en fonction de D).

Tableau II.7. Dosage minimale en fonction de D

D en mm	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100
$\sqrt[5]{D}$	1,38	1,45	1,52	1,59	1,66	1,74	1,82	1,90	2,00	2,09	2,19	2,29	2,40	2,51
$\frac{550}{\sqrt[5]{D}}$	400	380	362	346	332	316	302	290	275	263	251	240	230	220
$\frac{600}{\sqrt[5]{D}}$	435	415	395	378	362	345	330	315	300	288	275	262	250	240
$\frac{700}{\sqrt[5]{D}}$	500	480	460	440	420	400	385	370	350	335	320	305	290	280

Le dosage en ciment est donc fonction du rapport C/E mais également du dosage en eau E nécessaire pour une ouvrabilité satisfaisante. L'abaque de la figure permet d'évaluer approximativement C en fonction de C/E et de l'ouvrabilité désirée qui doit être considérée comme une donnée du problème.



F

Figure II.1. Abaque permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport C/E et de l'ouvrabilité désirée.

II.3.3.2. Dosage en eau

Une fois le choix du dosage en ciment est fait, on déduit alors le dosage approximatif en eau total à prévoir et qu'il conviendra bien entendu d'ajuster ultérieurement par quelques essais de plasticité et d'ouvrabilité.

Correction du dosage en eau total en fonction de la dimension maximale D

La correction sur le dosage en eau correspondant à $D=25\text{mm}$ peut être approximativement évaluée d'après les valeurs du tableau () en fonction de D.

Tableau II.8. Correction sur le dosage en eau en fonction de la dimension maximale des granulats si ($D=25$)

Dimension maximal D des granulats.... (mm)	5	10	16	25	40	63	100
Correction sur le dosage en eau..... (%)	+15	+9	+4	0	-4	-8	-12

II.3.3.3. Détermination du mélange optimal à minimum de vides

Il s'agit de déterminer les pourcentages de sable et graviers, qui vont permettre la réalisation d'un squelette granulaire à minimum de vides. Les quantités des matériaux de chaque classe granulaire doivent être judicieuses pour que les plus petits éléments viennent combler les vides laissés par les plus gros. La courbe granulométrique théorique d'un matériau à minimum de vides peut être schématisée par une droite brisée. La démarche proposée par Dreux pour déterminer le mélange optimum à minimum de vides est la suivante :

Tracé de la courbe granulaire de référence

Sur un graphique d'analyse granulométrique type AFNOR, on trace une composition granulaire de référence OAB.

Point O : ordonnée 0, abscisse : 0,080 mm

Point B : ordonnée : 100%, abscisse : dimension D du plus gros granulat

Point A :

En abscisse

Si $D \leq 20\text{mm}$, l'abscisse sera égale à $D/2$

Si $D > 20\text{mm}$, l'abscisse sera située au milieu du segment gravier limité par la dimension de tamis 5mm et le module correspondant à D.

En ordonnée : $Y=50-\sqrt{D}+K$

Tableau II.9.K, fonction de la forme des granulats, du mode de vibration et du dosage en ciment

Vibration		Faible		Normale		Puissante	
Forme des granulats (du sable en particulier)		Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
Dosage en Ciment (Kg/m ³)	400 + Fluidifiant	- 2	0	- 4	- 2	- 6	- 4
	400	0	+ 2	- 2	0	- 4	- 2
	350	+ 2	+ 4	0	+ 2	- 2	0
	300	+ 4	+ 6	+ 2	+ 4	0	+ 2
	250	+ 6	+ 8	+ 4	+ 6	+ 2	+ 4
	200	+ 8	+ 10	+ 6	+ 8	+ 4	+ 6

Corrections supplémentaires sur K

1-correction supplémentaire K_s : si le module de finesse du sable est fort (sable grossier) une correction supplémentaire sera apportée de façon à relever le point A, ce qui correspond à majorer le dosage en sable et vice versa. La correction supplémentaire (sur K) peut être effectuée en ajoutant la valeur $K_s = 6 M_f - 15$ (M_f le module de finesse du sable).

2-correction supplémentaire K_p : si la qualité du béton est préconisée « pompable » il conviendra de conférer au béton le maximum de plasticité et de l'enrichir en sable par apport à un béton de qualité « courante ». On pourra pour cela majorer le terme correcteur K de la valeur $K_p = +5$ à $+10$ environ, selon le degré de la plasticité désiré.

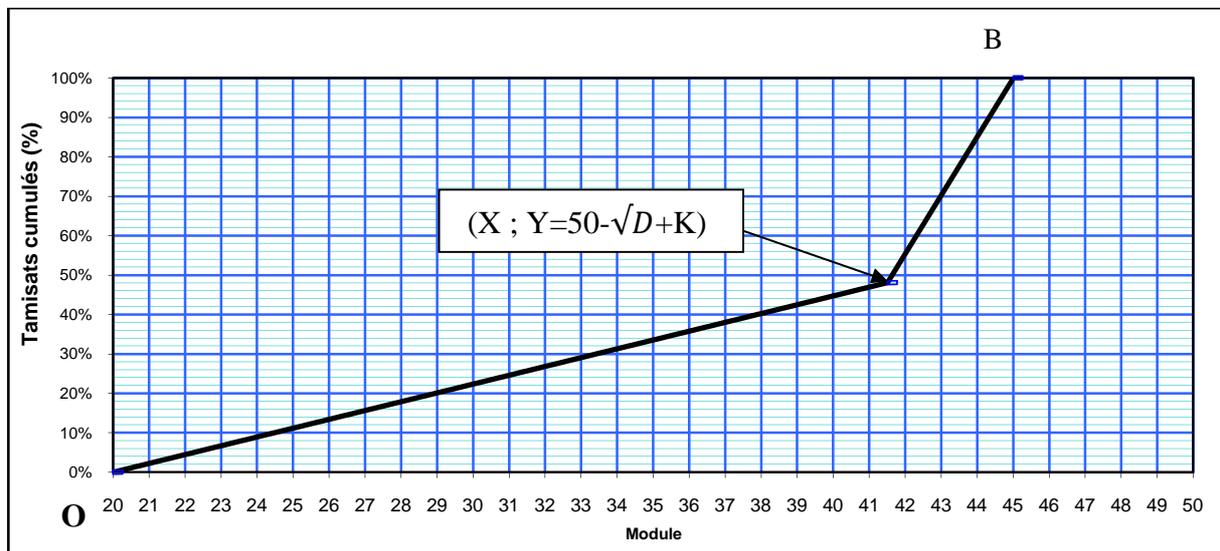


Figure. Courbe optimale selon Dreux-Gorisse

II.3.3.4. Masse des granulats

Pour déterminer les masses de granulats entrant dans la composition de béton, il est nécessaire de déterminer la compacité du béton qui correspond au rapport entre la somme des volumes absolus des constituants solides (granulats et ciment) et le volume de béton correspondant en œuvre que l'en prend ici égal à 1000 litres.

$$\text{On a donc : } \gamma = \frac{V_g + V_c}{1000}$$

Avec V_g et V_c (en litres) volumes absolus des granulats d'une part et du ciment d'autre part dans un mètre cube de béton en œuvre.

La connaissance du dosage en ciment C déjà fixé permet le calcul de V_c en supposant que la masse volumique du ciment est de 3,1 Kg/litre. Le choix de la valeur de γ dans le tableau (II.10) permet de calculer le volume absolu V_g de l'ensemble des granulats : la connaissance du pourcentage de chacun d'eux permet alors de calculer leurs volumes absolus respectifs en litres pour un mètre cube de béton en œuvre. La connaissance de la masse volumique de chacun d'eux est alors nécessaire et 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.

Tableau II.10. Valeur du coefficient de compacité γ

Consistance	Serrage	Dimension D des granulats (mm)						
		D= 5	D= 10	D=12,5	D =20	D=31,5	D =60	D = 80
Molle (TP-FI)	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 (P)	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 (F)	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)

II.3.3.4. Dosage des granulats

La courbe granulaire OAB de référence est tracée sur le même graphique que les courbes granulométriques des granulats composants.

On trace alors les lignes de partage entre chacun des granulats, en joignant le point à 95% de la courbe granulaire du premier, au point 5% de la courbe du granulats suivant et ainsi de suite.

On lira alors sur la courbe de référence, au point de croisement avec les droites de partage, le pourcentage en volume absolu des grains de ciment est : $V_c = C/3,1$ avec C le dosage en ciment. (3,1 étant la masse spécifique admise pour les grains de ciment).

Le volume absolu de l'ensemble des granulats est: $V = 1000 \gamma - V_c$.

On en déduit alors le volume absolu de chacun des granulats ainsi que les masses spécifiques de chacun des granulats.

Tels que :

Les volumes absolus de chacun des granulats sont par suite :

$$v_1 \geq g_1 V ; v_2 \geq g_2 V ; v_3 \geq g_3 V$$

Et si les masses spécifiques de chacun de ces granulats sont ρ_{s1} , ρ_{s2} , ρ_{s3} les masses de chacun d'eux seront :

$$P_1 = v_1 \rho_{s1} ; P_2 = v_2 \rho_{s2} ; P_3 = v_3 \rho_{s3}$$

La masse totale des granulats sera $G = P_1 + P_2 + P_3$

II.3.4.Ajustement de la formule au mètre cube

Si la masse des granulats est G, si la masse de ciment est C et si le dosage en eau est E (en litres) par mètre cube sur matériaux supposés secs), la densité du mètre cube de béton devrait être théoriquement :

$$\Delta_0 = \frac{G+C+E}{1000}$$

On peut en posant une ou plusieurs éprouvettes mesurer la densité réelle Δ du béton frais en œuvre.

Si Δ est peut différente de Δ_0 , c'est que la formule étudiée correspond bien au mètre cube.

Si en revanche, la densité réelle Δ est plus petite que la densité Δ_0 , c'est que la formule étudiée donne un peu plus d'un mètre cube de béton et le dosage réel en ciment se trouve inférieur à celui théoriquement prévu et vice versa. Donc il faut apporter une correction sur la masse totale des granulats selon la formule suivante :

$$x = 1000(\Delta - \Delta_0) \text{ En (Kg)}$$

si $(\Delta - \Delta_0) < 0 \Rightarrow$ la formule proposée faisant de plus du mètre cube.

si $(\Delta - \Delta_0) > 0 \Rightarrow$ la formule proposée faisant moins du mètre cube.

Sur la masse de chacun des granulats dont les pourcentages sont g_1, g_2, g_3 et les masses P_1, P_2 et P_3 , la correction à apporter sera la suivante :

$$\frac{xP_1}{G}, \frac{xP_2}{G}, \frac{xP_3}{G} \text{ avec } G \text{ est la masse totale des granulats.}$$

II.4. Conclusion

Dans cette partie nous constatant que la méthode de DREUX- GORISSE convienne très bien pour une étude de recherche sur les caractéristiques d'un béton ordinaire à court terme et à long terme en tenant compte de la qualité de ses constituants.

CHAPITRE III
CARACTERISATION DES MATERIAUX

III.1.Introduction

Les granulats utilisés dans les travaux de bâtiment et de génie civil doivent répondre à des impératifs de qualité et à des caractéristiques propres à chaque usage.

Les granulats étant d'origines diverses ; naturelle, alluvionnaire, calcaire, éruptive voire artificielle ou provenant de sous produits industriels, il est nécessaire d'en établir les caractéristiques par différents essais de laboratoire.

Certaines propriétés des granulats sont directement liées aux caractéristiques intrinsèques des roches originelles. D'autres caractéristiques dérivent du mode d'élaboration des granulats, que ce soit après extraction alluvionnaire, ou par concassage de roches massives en carrières.

Il s'agit principalement des paramètres liés à la distribution dimensionnelle des grains ou granularité. Ceci est complété par des caractéristiques liées à la propreté des matériaux obtenus en évaluant le pourcentage des fines ainsi que leur degré de pollution par les minéraux argileux qui sont néfastes à la fabrication de béton de qualité.

A ces paramètres s'ajoutent des caractéristiques liées à l'angularité et à la forme des grains ainsi qu'à leur sensibilité au gel, leur porosité et leur réactivité chimique.

III.2. Description des composants de base

Les matériaux granulaires retenus pour cette étude sont des matériaux naturels de types sable (roulé et concassé) et gravies (produits concassés)

III.2.1.Le ciment

Le ciment qu'on utilise dans notre étude est le ciment portland type CPJ, CEMII 42,5 fabriqué par la société AIN KEBIRA, les caractéristiques chimiques et minéralogiques sont données par l'annexe A [25].

III.2.2.Le sable

Les sables utilisées dans notre étude sont de nature et de provenance différente tel que :

- sable de concassage (0/3) de la carrière Djebel Yousef «Bouandas»
- sable lavé (0/3) de oued «sablier Amassine»
- sable de dune «Boussada»
- sable fin produit de calcaire broyé

III.2.3.Le gravier

Les graviers utilisés proviennent de la carrière Djebel Yousef «Bouandas». Trois classes granulaire sont utilisées soit : 3/8, 8/15 et 15/25.

III.2.4.L'eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée lors de la fabrication des bétons est potable (l'eau de robinet)

II.3.2. Analyse granulométrique des sables

Les résultats obtenus sont représentés dans les tableaux de l'annexe B et schématisés par les figures suivantes :



Figure III.2. Courbe granulométrique du sable fin (Carrière Djebel Youcef)

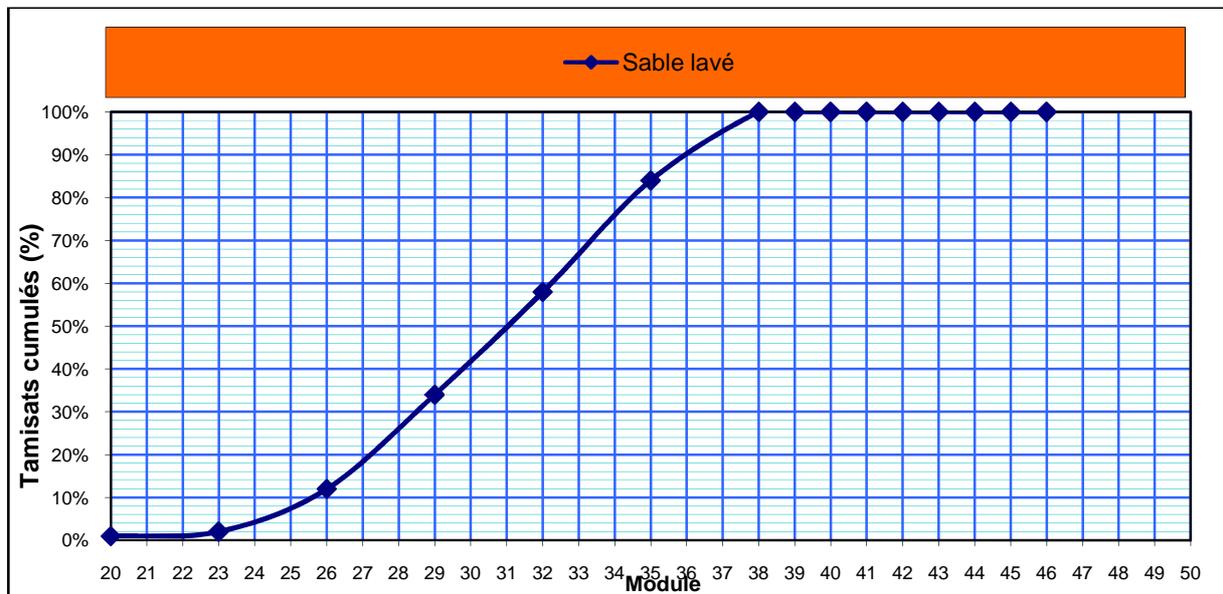


Figure III.3. Courbe granulométrique du sable lavé 0/3 (sablère Amassin)

III.3.2.1. Présentation des résultats

Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être quantitatif par le calcul du **module de finesse MF**. Celui-ci correspond à $1/100^e$ de la somme des refus cumulés (exprimé en pourcentages de poids) sur les différents tamis de la série suivante :

0,16- 0,315- 0,63- 1,25- 2,5 et 5 mm.

Il caractérise bien les granulats, et on l'emploi dans des études très variées.

Dans le cas du sable 0/3 de la carrière (Carrière Djebel Youcef «Bouandas»), le module de finesse est égal à :

$$MF = (72+66+54+35+9+0) / 100 = \mathbf{2,36}.$$

Le module de finesse du sable lavé 0/3 de oued est égal à :

$$MF = (98+88+66+42+16+0)/100 = \mathbf{3.10}.$$

Remarque

Dans notre étude en vise un module de finesse $MF=2,8$ (sable préférentiel selon la courbe I.2). Pour cela en utilise des sables correcteurs de telle façon a amélioré le module de finesse de chaque sable, le ramené proche de $MF=2,8$.

III.3.2.2. Correction éventuelle du module de finesse du sable [27]

Pour une éventuelle correction du module de finesse de sable en utilise la règle d'Abrams : supposons par exemple que en dispose d'un sable S_1 de module de finesse trop fort MF_1 et que l'on désire y ajouter un sable fin S_2 de module de finesse MF_2 afin d'obtenir un mélange dont le module de finesse serait MF , les proportions des deux sables composant devront être les suivant :

$$\text{Proportion du sable } S_1 = \frac{MF - MF_2}{MF_1 - MF_2}$$

$$\text{Proportion du sable } S_2 = \frac{MF_1 - MF}{MF_1 - MF_2}$$

Correction du sable fin 0/3 (carrière Djebel Youcef) par un sable grossier 0/3 (carrière Djebel Youcef)

Le module de finesse du sable 0/3 (carrière Djebel Youcef) est $MF_1=2,36$ et le pourcentage des éléments inférieurs à 80 microns est de $19\% > 12\%$, donc c'est un sable plutôt fin. Pour cela en utilise un deuxième sable grossier 0/3 de la même carrière qui a un module de finesse $MF_2 > 2,8$ pour obtenir un mélange dont le module de finesse $MF=2,8$.

-Les caractéristiques de ce sable sont les suivantes :

Les résultats de l'analyse granulométrique du sable grossier 0/3 (carrière Djebel Youcef) sont donnés dans l'annexe B.

Le module de finesse du sable grossier 0/3 (carrière Djebel Youcef) est:

$$MF_2 = (89+85+75+60+40+10) / 100 = \mathbf{3,59}.$$

-Les proportions des deux sables fin et grossier composant le mélange selon la règle d'Abrams sont les suivantes :

$$S_1 = 36\% \text{ (sable fin 0/3 de la carrière Djebel Youcef)}$$

$$S_2 = 64\% \text{ (sable fin 0/3 de la carrière Djebel Youcef)}$$

-Les résultats de l'analyse granulométrique du mélange des deux sable fin et grossier (carrière Djebel Youcef) sont donnés dans l'annexe B et schématisé par la figure suivante :

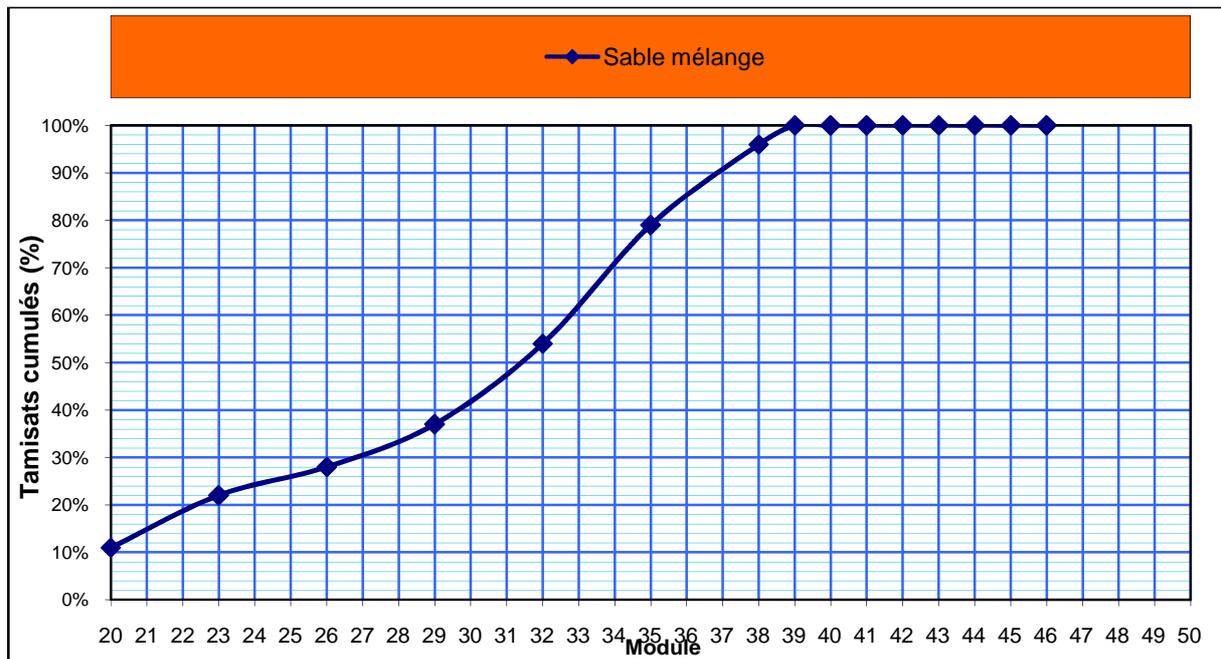


Figure III.4. Courbe granulométrique du mélange des deux sables fin et grossier (carrière Djebel Youcef)

$$MF = (78+73+63+46+21+4) / 100 = \mathbf{2,85}.$$

Correction du sable lavé 0/3 par le sable de dune

Le module de finesse du sable lavé 0/3 est $MF_1 = 3,1 \notin [2,2-2,8]$ donc c'est un sable grossier.

Pour le corriger en utilise le sable de dune qui est un sable fin couramment utilisé comme mélange de module de finesse $MF_2 < 2,8$

-Les caractéristiques de ce sable sont les suivantes :

Les résultats de l'analyse granulométrique du sable de dune sont donnés sur un tableau dans l'annexe B.

Le module de finesse du sable de dune est :

$$MF_2 = (95+55+5+0+0+0) / 100 = \mathbf{1.55}.$$

-Les proportions des deux sables lavé et de dune composant le mélange dont le module de finesse MF proche de 2,8 selon la règle d'Abrams sont les suivantes :

$$S_1 = 80\% \text{ (sable lavé 0/3)}$$

$$S_2 = 20\% \text{ (sable de dune)}$$

-Les résultats de l'analyse granulométrique du mélange de sable lavé 0/3 et sable de dune sont donnés sur un tableau de l'annexe B est schématisé sur la figure suivante :

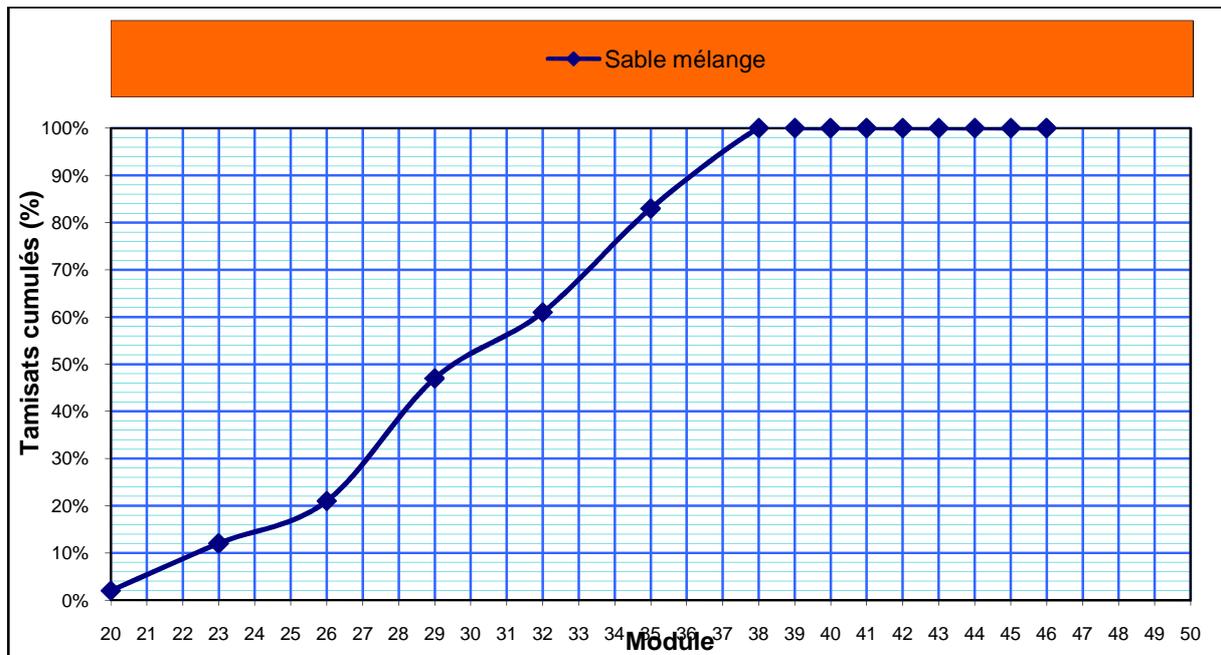


Figure III.5. Courbe granulométrique du mélange sable lavé 0/3 et sable de dune

Le module de finesse du mélange sable lavé corrigé avec sable de dune est :

$$MF = (88+79+54+39+18+0) / 100 = \mathbf{2,80}.$$

Correction du sable lavé 0/3 par la fraction de calcaire broyé

Le module de finesse du sable lavé 0/3 est $MF_1 = 3,1 \notin [2,2-2,8]$ donc c'est un sable grossier.

Pour le corriger en utilise un autre sable fin produit de calcaire broyé de module de finesse

$$MF_2 < 2,8$$

Les caractéristiques de ce sable sont les suivantes :

Les résultats de l'analyse granulométrique de la fraction de calcaire broyé sont donnés sur un tableau dans l'annexe B.

Le module de finesse de la fraction de calcaire broyé est :

$$MF_2 = (58+34+2+0+0+0) / 100 = 0.94$$

Remarque

Le pourcentage des éléments inférieur à 63 micron est égale à 20% > 5%, alors que la norme tolère un pourcentage de particules fines inférieure a 63 micron dans un sable à béton de 5%.

Pour cela en tamise la fraction du calcaire broyé sur un tamis de 63 micron avant de l'utilisé comme un sable de mélange pour la correction du module de finesse de sable lavé.

-Les proportions des deux sables lavé et la fraction de calcaire broyé composant le mélange dont le module de finesse MF proche de 2,8 selon la règle d'Abrams sont les suivantes :

$S_1 = 86\%$ (sable lavé 0/3)

$S_2 = 14\%$ (fraction de calcaire broyé)

-Les résultats de l'analyse granulométrique du mélange de sable lavé 0/3 et la fraction de calcaire broyé sont donnés sur un tableau dans l'annexe B est schématisé sur la figure suivante :

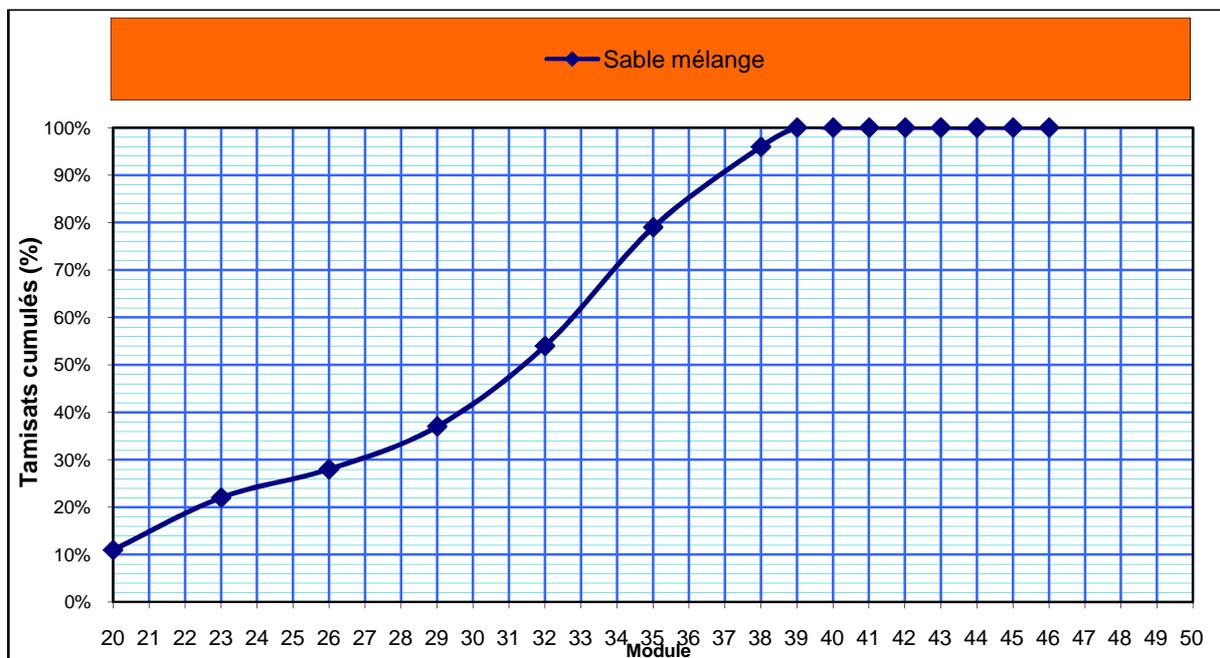


Figure III.6. Courbe granulométrique du mélange sable lavé 0/3 et la fraction de calcaire broyé

Le module de finesse du mélange sable lavé corrigé avec la fraction de calcaire broyé est :

$$MF = (86+80+64+35+14+0) / 100 = \mathbf{2,80}$$

III.4.Mesure du coefficient d’aplatissement des granulats (NF P 18-561) [26]

III.4.1.Expression du coefficient d’aplatissement "A"

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n M_{ei}}{\sum_{i=1}^n M_{gi}} \cdot 100$$

Avec : M_{ei} = masse de la classe granulaire d/D.

M_{gi} = masse passant à travers le tamis à fentes d’écartement E correspondant.

Le coefficient d’aplatissement global **A** s’exprime en intégrant les valeurs partielles déterminées sur chaque classe granulaire :

L’ensemble des résultats obtenus est récapitulé dans les tableaux (III.1) (III.2) (III.3)

Tableau III.1.Mesure du coefficient d’aplatissement pour le gravier (15/25)

Tamisage sur tamis		Tamisage sur grilles		
Classes granulaires d/D (mm)	M_{gi} (g)	Ecartement des grilles (mm)	Passan M_{ei} (g)	$A_i = \frac{M_{ei}}{M_{gi}} \cdot 100$
20 – 25	430	12.5	98	23
16 – 20	960	10	180	19
12,5 – 16	1963	08	140	7
10 – 12,5	40	6.3	4	10
8-10	15	5	0	0
M = $\sum M_{gi} = 3408g$		$\sum M_{ei} = 422g$		
$M_o = 5500g$		$\sum M_{gi} = 3408g > 0.98 \times 6000 = 5390g$		
$A = \frac{\sum_{i=1}^n M_{ei}}{M} \cdot 100 = 8$				

Tableau III.2. Mesure du coefficient d'aplatissement pour le gravier (8/15)

Tamisage sur tamis		Tamisage sur grilles		
Classes granulaires d/D (mm)	M_{gi} (g)	Ecartement des grilles (mm)	Passants M_{ei} (g)	$A_i = \frac{M_{ei}}{M_{gi}} \cdot 100$
12.5 – 16	599	08	100	17
10 – 12.5	895	6.3	125	14
8 – 10	875	05	110	13
6.3 – 8	750	04	125	17
5 – 6.3	115	3.15	10	9
4 – 5	56	2.5	4	7
$M = \Sigma M_{gi} = 3290g$		$\Sigma M_{ei} = 474g$		
$M_o = 3340g$		$\Sigma M_{gi} = 3290g > 0.98 \times 3340 = 3273g$		
$A = \frac{\sum_{i=1}^n M_{ei}}{M} \cdot 100 = 14$				

Tableau III.3. Mesure du coefficient d'aplatissement pour le gravier 3/8

Tamisage sur tamis		Tamisage sur grilles		
Classes granulaires d/D (mm)	M_{gi} (g)	Ecartement des grilles (mm)	Passants M_{ei} (g)	$A_i = \frac{M_{ei}}{M_{gi}} \cdot 100$
8 – 10	0	05	0	0
6.3 – 8	476	04	110	23
5 – 6.3	620	3.15	85	14
4 – 5	1120	2.5	160	14
$M = \Sigma M_{gi} = 2216g$		$\Sigma M_{ei} = 355g$		
$M_o = 2250g$		$\Sigma M_{gi} = 2216g > 0.98 \times 2250 = 2205g$		
$A = \frac{\sum_{i=1}^n M_{ei}}{M} \cdot 100 = 16$				

III.4.2. Interprétation des résultats

D'après les résultats obtenus nous constatons que le coefficient d'aplatissement $A < 30\%$ pour tous les graviers utilisés, selon la norme (NF P18-561) nous pouvons conclure que ces graviers peuvent être utilisés pour la confection du béton hydraulique.

III.5. Calcul de la teneur en impureté des graviers [26]

III.5.1. Détermination de la propreté superficielle (NF P 18-591)

La propreté superficielle est définie comme étant le pourcentage pondéral de particules inférieures à 0,5mm mélangées ou adhérentes à la surface des granulats supérieurs à 2mm.

III.5.1.1. Expression des résultats

La propreté superficielle est donnée par :

$$P = \frac{m}{M_s}$$

L'ensemble des résultats obtenus est récapitulé dans le tableau (III.4)

Tableau III.4. Teneur en impuretés pour les gravillons.

Echantillons caractéristiques	15/25	8/15	3/8
Masse humide M_{1h} (g)	6150	5900	3895
Masse humide M_h (g)	6150	5900	3895
Masse sèche M_{1s} (g)	6058	5640	3610
Masse sèche M_s (g)	6058	5640	3610
Masse sèche m' (g)	5959	5730	3670
Masse sèche m (g)	99	90	60
Propreté superficielle P (%)	1,63	1,59	1,66

III.5.1.2. Interprétation des résultats

D'après les résultats obtenus la propreté superficielle $P < 3\%$, selon la norme (NF P 18-591) les granulats utilisés sont propres.

III.6. Détermination de la propreté des sables

III.6.1. Essai d'équivalent de sable (NF P 18-598) [26]

III.6.1.1. Expression des résultats

L'équivalent de sable (ES) d'une prise d'essai d'un échantillon est, par définition

- Mesure des hauteurs visuels $ESV = (h_2 / h_1) \times 100$
- Mesure au piston : $ESP = (h_2' / h_1) \times 100$

III.6.1.2.Présentation des résultats

Les résultats obtenus sont donnés dans les tableaux (III.5) (III.6) et (III.7)

Tableau III.5.Equivalent de sable pour le sable 0/3 (Carrière Djebel Youcef)

N° de L'éprouvette	Hauteur h1 (cm)	Hauteur h2 (cm)	Hauteur h'2 (cm)	ESV (%)	ESP (%)	ESV Moyen	ESP moyen
1	11,50	8.90	8.10	70	70	75	72
2	11.00	8.20	7.90	75	72		
3	10.80	8.00	8.00	74	74		

Tableau III.6.Equivalent de sable pour le sable lavé 0/3 (sablère Amassin)

N° de L'éprouvette	Hauteur h1 (cm)	Hauteur h2 (cm)	Hauteur h'2 (cm)	ESV (%)	ESP (%)	ESV Moyen	ESP Moyen
1	11.40	7.60	7.40	67	65	68	66
2	11.20	7.90	7.60	70	68		
3	10.80	7.40	7.10	68	66		

Tableau III.7.Equivalent de sable pour le sable de dune (Boussaâda)

N° de L'éprouvette	Hauteur h1 (cm)	Hauteur h2 (cm)	Hauteur h'2 (cm)	ESV (%)	ESP (%)	ESV Moyen	ESP moyen
1	10.50	7.50	7.3	71	70	73	69
2	10.40	7.60	7.1	73	68		
3	10.90	8.20	7.6	75	70		

III.6.1.3. Interprétation des résultats

D'après les résultats obtenus nous constatons que :

-Pour le sable 0/3 (Carrière Djebel Youcef) $70\% < ESP < 80\%$ et selon la norme (NF P 18-598) le sable utilisé est un sable propre à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour des bétons de qualité.

-Pour le sable lavé 0/3 et le sable de dune $60\% < ESP < 70\%$ et selon la norme (NF P 18-598) les deux sables sont donc des sables légèrement argileux de propreté admissible convenant pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait.

Remarque

L'essai d'équivalent de sable montre que les trois sables utilisés contiennent un faible pourcentage de fines argileuses.

Pour évaluer le degré d'activité de ces particules fines argileuses qui sont responsables, dans une large mesure, de désordre et de non qualité dans les bétons, on procède à un autre essai qui est l'essai au bleu de méthylène.

III.6.2. Essai au bleu de méthylène dit essai à la tâche (NF P 18-592)

III.6.2.1. Expression des résultats

La valeur de bleu du sable est donnée par la formule : $VB = \frac{V}{M}$; avec :

V : volume de solution de bleu utilisée jusqu'à obtention du test positif (en cm^3).

B : masse sèche de la prise d'essai (en g).

III.6.2.2. Présentation des résultats

Les résultats obtenus sont donnés dans les figures (III.7) (III.8) et (III.9)

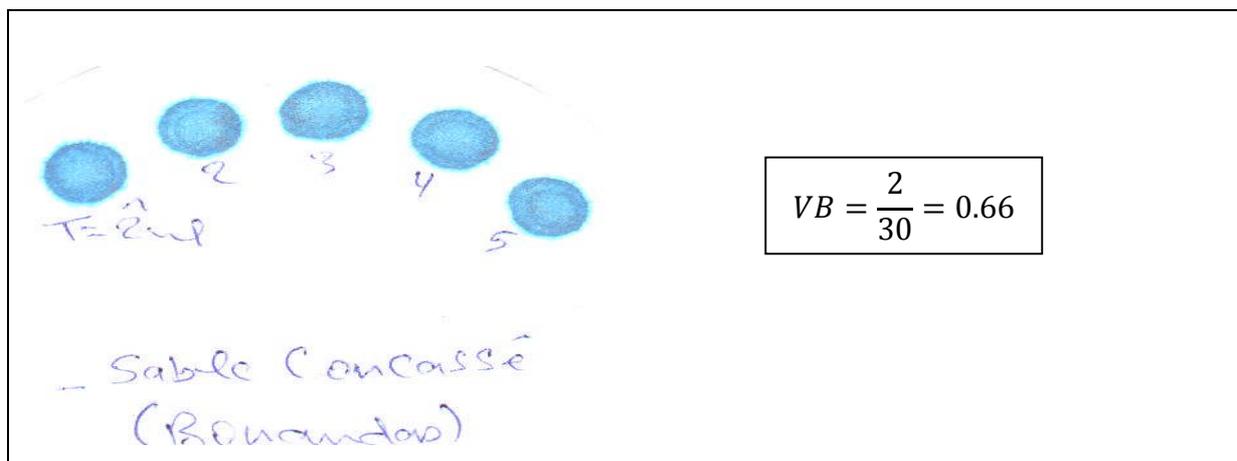


Figure III.7. Résultats de l'essai à la tâche du sable de 0/3 (Carrière Djebel Youcef)

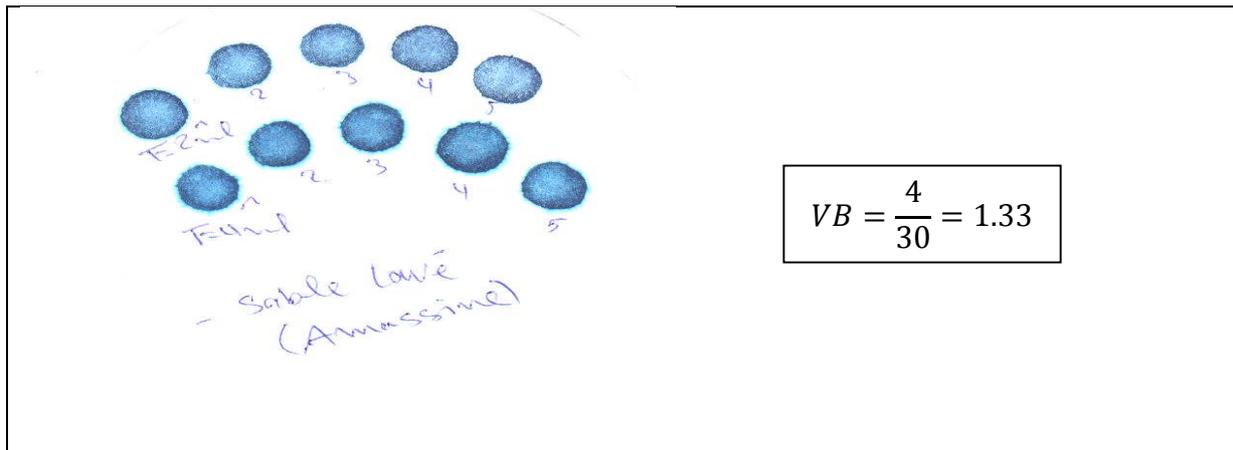


Figure III.8. Résultats de l'essai à la tâche du sable lavé (sablère Amassin)

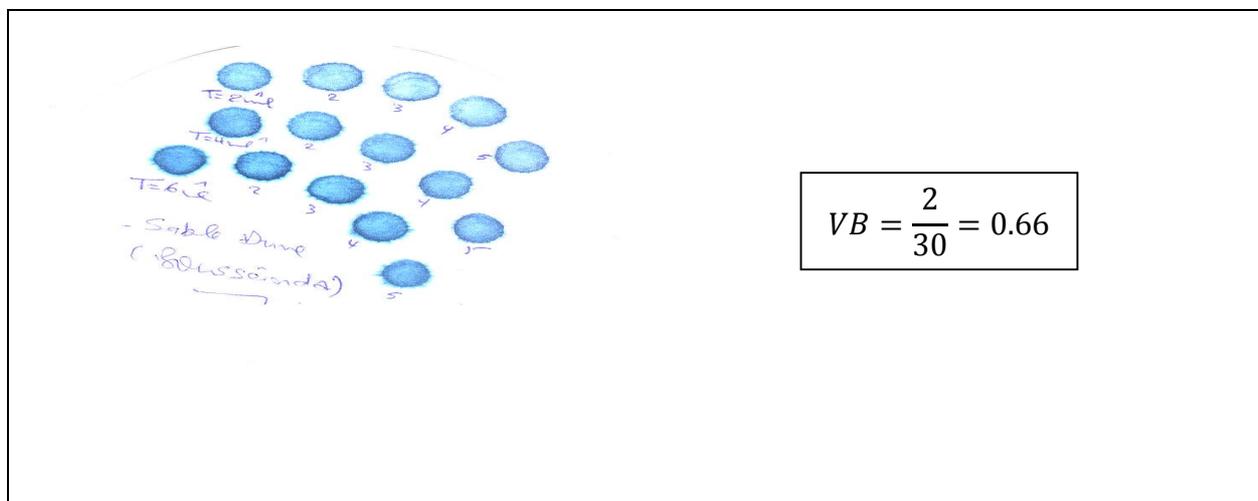


Figure III.9. Résultats de l'essai à la tâche du sable de dune (Boussaâda)

III.6.2.3. Interprétation des résultats

- Pour le sable 0/3 (Carrière Djebel Youcef) $VB=0.66 < 1 \Rightarrow$ sable non argileux.
- Pour le sable lavé 0/3 $VB=1.33 > 1 \Rightarrow$ contient un faible pourcentage d'argile qui peuvent être des argiles siliceuse ou bien des matières organiques.
- Pour le sable de dune $VB=0.66 < 1 \Rightarrow$ sable non argileux.

III.7. Détermination des masses volumiques (NF P 18-554) (NF P 18-555) [26,27]

III.7.1. Détermination de la masse volumique absolue « ρ_s »

III.7.1.1. Expression des résultats

La méthode utilisée est celle de l'éprouvette graduée

La masse volumique absolue est alors : $\rho_s = M / (V_2 - V_1)$

III.7.1.2. Présentation des résultats

Les résultats obtenus sont donnés dans les tableaux suivants :

**Tableau III.8. Masse volumique absolue « ρ_s » des granulats
de la carrière Djebel Youcef**

Echantillon		M (g)	Volume V1 (cm ³)	Volume V2 (cm ³)	Masse volumique absolue ρ_s (g/cm ³)	ρ_s moyenne (g/cm ³)
Gravier 15/25	Ech.1	400	500	655	2.58	2.63
	Ech.2	400	500	650	2.66	
	Ech.3	400	500	645	2.75	
Gravier 8/15	Ech.1	400	500	648	2.70	2.64
	Ech.2	400	500	655	2.58	
	Ech.3	400	500	650	2.66	
Gravier 3/8	Ech.1	300	600	712	2.67	2.64
	Ech.2	300	600	718	2.54	
	Ech.3	300	600	710	2.72	
Sable 0/3	Ech.1	300	600	710	2.72	2.64
	Ech.2	300	600	715	2.60	
	Ech.3	300	600	715	2.60	

**Tableau III.9. Masse volumique absolue « ρ_s » des granulats
Sable lavé 0/3 et sable de dune**

Echantillon		M (g)	Volume V1 (cm ³)	Volume V2 (cm ³)	Masse volumique absolue ρ_s (g/cm ³)	ρ_s moyenne (g/cm ³)
Sable lavé 0/3	Ech.1	300	600	720	2.50	2.53
	Ech.2	300	600	720	2.50	
	Ech.3	300	600	715	2.60	
Sable de dune	Ech.1	300	600	710	2.72	2.64
	Ech.2	300	600	715	2.60	
	Ech.3	300	600	710	2.60	

Tableau III.10. Masse volumique absolue « ρ_s » du mélange sable lavé 0/3

corrigé avec sable de dune

Echantillon		M (g)	Volume V1 (cm ³)	Volume V2 (cm ³)	Masse volumique absolue ρ_s (g/cm ³)	ρ_s moyenne (g/cm ³)
Sable mélange	Ech.1	300	600	720	2.50	2.60
	Ech.2	300	600	710	2.72	
	Ech.3	300	600	715	2.61	

Tableau III.11. Masse volumique absolue « ρ_s » du mélange sable lavé 0/3

corrigé avec la fraction de calcaire broyé

Echantillon		M (g)	Volume V1 (cm ³)	Volume V2 (cm ³)	Masse volumique absolue ρ_s (g/cm ³)	ρ_s moyenne (g/cm ³)
Sable mélange	Ech.1	300	600	710	2.72	2.62
	Ech.2	300	600	715	2.60	
	Ech.3	300	600	720	2.60	

III.7.2. Détermination de la masse volumique apparente « ρ_{app} »

III.7.2.1. Expression des résultats

La mesure consiste au remplissage d'un récipient de volume intérieur connu, et à la pesée du granulat correspondant. La masse volumique apparente de l'échantillon « ρ_{app} » est donnée par la relation suivante :

$$\rho_{app} = (M' - M) / V_r. \text{ Avec :}$$

M' : masse du récipient + échantillon.

M : masse du récipient vide qui est égale à 798g.

V_r : volume du récipient qui est égal à 3885 cm³

III.7.2.2. Présentation des résultats

Les résultats obtenus sont donnés dans les tableaux suivants :

**Tableau III.12. Masse volumique apparente « ρ_{app} » des granulats
de la carrière Djebel Youcef**

Echantillon		M'	M' – M	Masse volumique apparente ρ_{app}	ρ_{app} moyenne
		(g)	(g)	(g/cm ³)	(g/cm ³)
Gravier 15/25	Ech.1	6070	5270	1.35	1.35
	Ech.2	6050	5252	1.35	
	Ech.3	6035	5237	1.34	
Gravier 8/15	Ech.1	6184	5386	1.38	1.39
	Ech.2	6216	5418	1.39	
	Ech.3	6205	5407	1.39	
Gravier 3/8	Ech.1	6300	5502	1.42	1.41
	Ech.2	6315	5517	1.42	
	Ech.3	6290	5492	1.41	
Sable 0/3	Ech.1	6786	5988	1.54	1.54
	Ech.2	6774	5976	1.53	
	Ech.3	6792	5994	1.54	

**Tableau III.13. Masse volumique apparente « ρ_{app} » des granulats
Sable lavé 0/3 et sable de dune**

Echantillon		M'	M' – M	Masse volumique apparente ρ_{app} (g/cm ³)	ρ_{app} moyenne (g/cm ³)
		(g)	(g)	(g/cm ³)	(g/cm ³)
Sable lavé	Ech.1	6836	6038	1.55	1.54
	Ech.2	6798	6000	1.54	
	Ech.3	6796	5998	1.54	
Sable de dune	Ech.1	6350	5552	1.43	1.43
	Ech.2	6336	5538	1.43	
	Ech.3	6338	5540	1.43	

Tableau III.14. Masse volumique apparente « ρ_{app} » du mélange sable lavé 0/3

Corrigé avec sable de dune

Echantillon		M'	M' – M	Masse volumique apparente ρ_{app} (g/cm ³)	ρ_{app} moyenne (g/cm ³)
		(g)	(g)		
sable mélange	Ech.1	7431	6633	1.45	1.47
	Ech.2	6336	5538	1.43	
	Ech.3	6703	5905	1.52	

Tableau III.15. Masse volumique apparente « ρ_{app} » du mélange sable lavé 0/3

Corrigé avec la fraction de calcaire broyé

Echantillon		M'	M' – M	Masse volumique apparente ρ_{app} (g/cm ³)	ρ_{app} moyenne (g/cm ³)
		(g)	(g)		
sable mélange	Ech.1	6350	5552	1.43	1.55
	Ech.2	6336	5538	1.43	
	Ech.3	6338	5540	1.43	

III.7.3. Interprétation des résultats

D'après les résultats obtenus nous avons : $\rho_s \in [2,5 - 2,7]$ et $\rho_{app} \in [1,4 - 1,6]$, ce sont des masses volumiques moyennes des granulats courants.

III.8. Résistance au choc : essai Los Angeles (NF P 18-573) [26,28]

III.8.1. Expression des résultats

La résistance à la fragmentation par chocs s'exprime par la quantité :

$$LA = \frac{m}{M} \cdot 100$$

$m = 5000 - m'$: est la masse sèche de la fraction du matériau passant après l'essai au tamis de 1.6mm.

$M=5000$ g: la prise d'essai

III.8.2.Présentation des résultats

Les résultats obtenus des granulats de carrière Djebel Youcef sont dans le tableau suivant:

Tableau III.16.Mesure du coefficient Los Angeles des granulats

Nature du matériau	Classe granulaire	Poids (g)			Coefficient Los Angeles LA= $\frac{m}{5000}100$
		Initial	Final > à 1.6mm	Inférieur à 1.6mm : m=5000-m'	
15/25	10 - 25	5000	3452	1548	31
8/15	10 - 14	5000	2626	2374	47
8/15	6.3 - 10	5000	2770	2230	45
3/8	4 – 6.3	5000	2260	2740	54

III.8.3.Interprétation des résultats

Pour les trois classes du gravier soumises à l’essai la valeur de Los Angles $15 < LA < 100$ et d’après la norme (NF P 18-573), nous pouvons conclure que ces graviers peuvent être utilisés pour la confection du béton hydraulique.

III.9.Résistance à l’usure : Essai d’usure MICRO-DEVAL (NFP 18-572) [26,28]

III.9.1. Expression des résultats

La résistance à l’usure s’exprime par le coefficient Micro-Deval M_{DE} .

$$M_{DE} = \frac{500 - m'}{500}$$

III.9.2.Présentation des résultats

Les résultats obtenus sont donnés par le tableau (III.17)

Tableau III.17.Mesure du coefficient Micro-Doval des granulats

Nature du matériau	Classe granulaire (mm)	Charge abrasive (g)	Poids (g)			M_{DE}
			Initial	Final m'	Inférieur à 1.6mm m	
15/25	10 – 14	5000	500	408	92	18
8/15	6.3 – 10	4000	500	420	80	16
3/8	4 – 6.3	2000	500	380	120	15

III.9.3. Interprétation des résultats

Pour les trois classes du gravier soumises à l'essai la valeur de Micro-Doval $M_{DE} < 20$ et d'après la norme (NF P 18-573), nous pouvons conclure que ces graviers peuvent être utilisés résiste bien à l'usure.

III.10. Caractérisation du ciment

Le ciment utilisé est le ciment portland composé CPJ - CEM II/A 42.5, fabriqué par la société de ciments AIN EL KEBIRA (S.C.A.E.K).

Les caractéristiques chimiques et minéralogiques sont données dans les tableaux de l'annexe A

III.10.1. Masse spécifique

La masse volumique absolue du ciment utilisé est : $\rho_s = 3,1 \text{ g/cm}^3$.

III.10.2. Mesure des temps de début et de fin de prise (EN 196-3) [26,28]

III.10.2.1. Présentation des résultats

Les résultats obtenus sont donnés par le tableau (III.18)

Tableau III.18. temps de début et de fin de prise.

Temps de début de prise	2 heures et 55 minutes (2h 50')
Temps de fin de prise	4 heures et 35 minutes (4h 25')

III.10.2.2. Interprétation des résultats

Le début de prise se manifeste après 2h 50'. Ce ciment est donc classé en catégorie des liants à prise lente.

III.10.3. Détermination de la stabilité «essai Le Chatelier» (EN 196-3) [26,28]

III.10.3.1. Présentation des résultats

Les résultats obtenus sont donnés par le tableau (III.19)

Tableau III.19. Détermination de la stabilité du ciment par le Chatelier

N° du moule	Mesure N°1 : A (mm)	Mesure N°2 : B (mm)	Mesure N°3 : C (mm)	Stabilité (ST) : C - A (mm)
1	4	5	5	1
2	3	3	4	1
3	4	4	4	0

On prend la valeur moyenne des gonflements des 3 moules :

$$ST=0.66\pm 0.5 \text{ mm}$$

D'après la norme, le gonflement ou l'expansion devront être inférieur à **10 mm**, pour toutes les classes de ciments, et c'est le cas dans notre ciment étudié.

III.10.3.2. Interprétation des résultats

On a obtenu une stabilité égale à $0,33 \pm 0,5$ mm, qui est très inférieure à 10 mm ; ce qui nous laisse dire que notre ciment est à une stabilité très acceptable. Les teneurs en Cao, MgO et SO₃ sont optimales, les retraits à mesurer sur les bétons ne seront pas influencés par l'expansion de ciment.

III.11. Composition chimique et minéralogique des granulats [29]

La connaissance de la composition chimique et minéralogique des granulats utilisés est importante afin de comprendre les interactions entre ceux-ci et la matrice cimentaire.

La DRX (diffraction aux rayons X) fait directement ressortir la nature des minéraux cristallisés composant chaque granulat, les phases amorphes n'étant pas détectées.

III.11.1. La DRX

Les expériences de diffraction des rayons X ont été conduites au laboratoire de génie des procédés de l'Université de Bejaia, au moyen d'un diffractomètre à Rayons X.

III.11.2. Principe de diffraction aux rayons X [100]

Il consiste à exposer à des rayons X monochromatique un échantillon fait de nombreuses particules fines et orientées aléatoirement, ces rayons seront diffractés et récupérés sous forme d'un faisceau bien défini et cohérent, un appareil enregistreur trace la courbe de l'intensité du faisceau diffracté en fonction de l'angle de diffraction.

Sur le diagramme de diffraction, les positions angulaires des pics de diffraction révèlent la taille et la géométrie de la maille élémentaire, alors que l'arrangement des atomes au sein de la maille élémentaire est associé à l'intensité relative de ces pics.

III.11.3. Présentation des résultats

Les résultats obtenus sont donnés sur les figures suivantes :

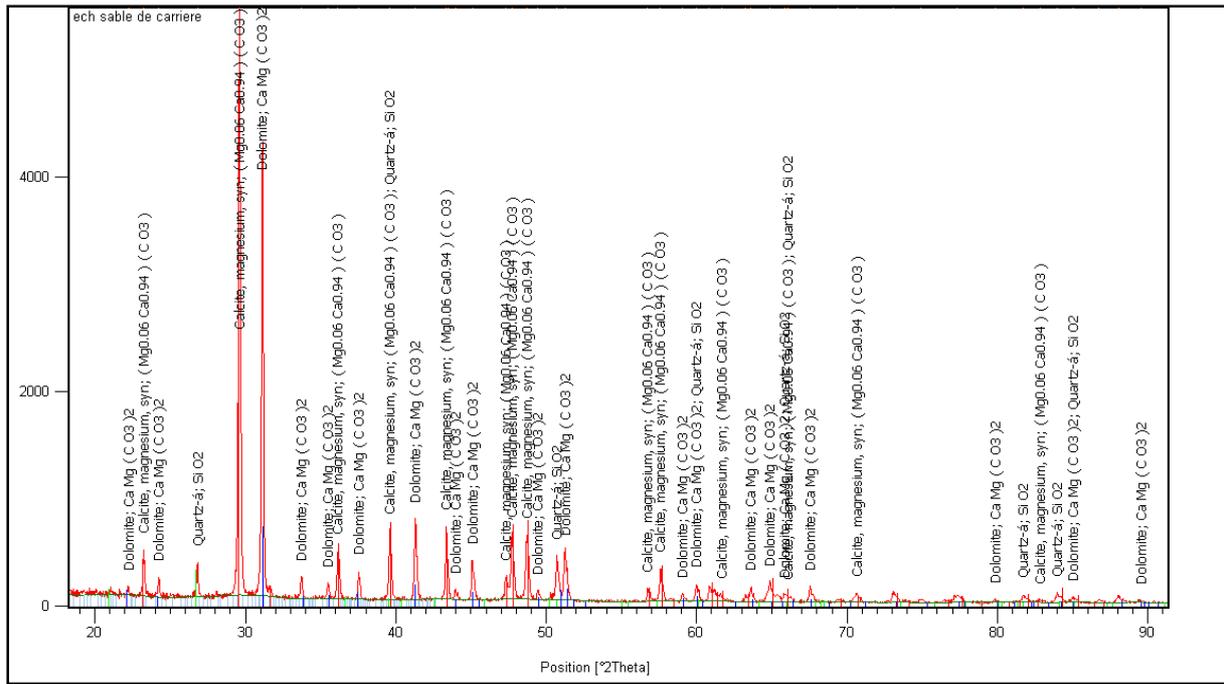


Figure III.10. DRX sur les granulats de carrière Djebel Youcef

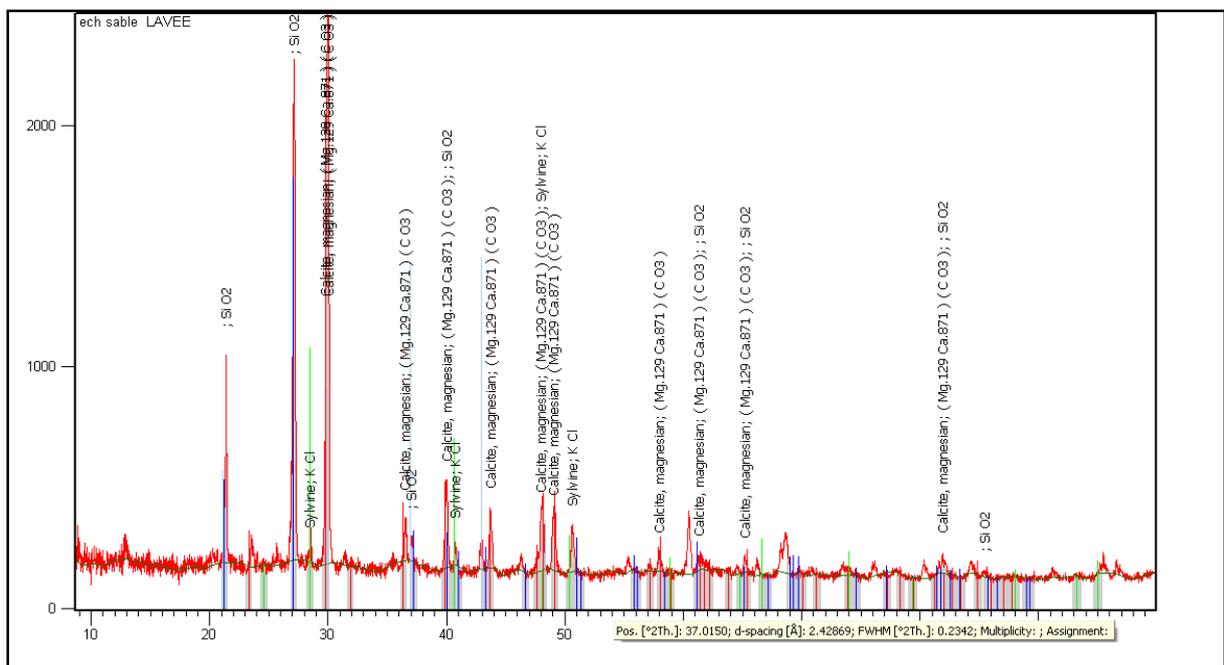


Figure III.11. DRX sur le sable lavé 0/3 (sablère Amassin)

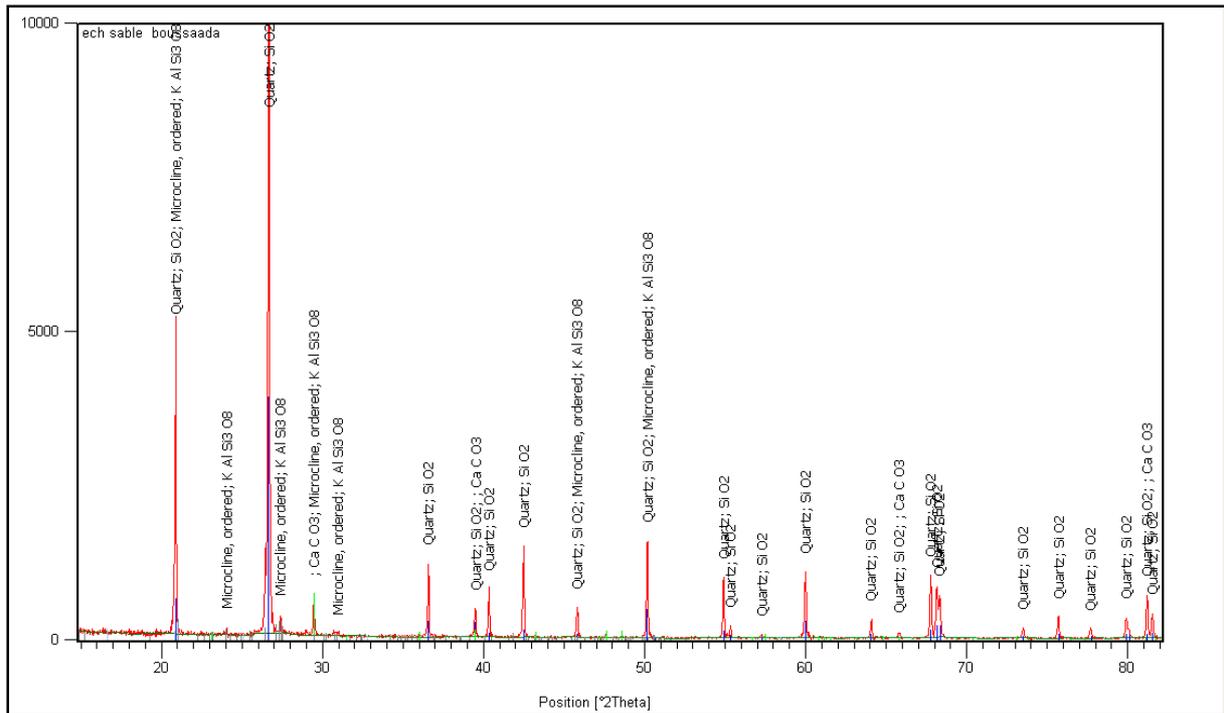


Figure III.12. DRX sur le sable de dune (Boussaâda)

III.11.4. Interprétation des résultats

-La figure (III.10) montre que les granulats de la carrière Djebel Youcef sont constitués en majeure partie de la dolomite ($\text{Ca Mg} (\text{CO}_3)_2$) et de la calcite, magnésium ($\text{MgO}.06 \text{ CaO}.94$), (CO_3).

-La figure (III.11) montre que le sable lavé 0/3 est constitué en majeure partie de quartz (SiO_2) et de la calcite, magnésium ($\text{Mg}.129 \text{ Ca}.871$), (CO_3) mais aussi d'une fraction moins importante de chlorure de potassium KCl

.-La figure (III.12) montre que le sable de dune est constitué en majeure partie de quartz (SiO_2) Dans l'ensemble, cette étude montre une assez grande dispersion des résultats entre les granulats de provenance différente.

III.12. Conclusion

D'après les résultats obtenus nous constatons que les granulats caractérisés sont de bonne qualité et peuvent être utilisés pour la confection du béton hydraulique.

CHAPITRE IV
ETUDE DE LA FORMULATION

IV.1. Formulation du béton selon la méthode de Dreux-Gorisse

IV.1.1. introduction

Cette méthode a l'avantage d'être issue de nombreuses formulations ayant été testées sur chantier, et ayant donné satisfaction.

Elle est d'autre part plus rapide et très simple d'utilisation ; puisqu'elle ne demande que de connaître les courbes granulométriques utilisées.

Dans notre cas, la méthode de Dreux-Gorisse nous offre l'avantage de mettre en position des données de bases communes pour tous les types de bétons à étudier par rapport à la situation du problème et aux objectifs à atteindre.

Dans ce qui suit nous déterminons la composition des quatre types de béton à étudier tels que :

-**BO1** : Béton ordinaire à base de sable lavé 0/3.

-**BO2** : Béton ordinaire à base de mélange sable lavé 0/3 corrigé avec sable de dune.

-**BO3** : Béton ordinaire à base de mélange sable lavé 0/3 corrigé avec la fraction de calcaire broyé.

-**BO4** : Béton ordinaire à base de mélange sable de carrière 0/3.

Nous allons établir toutes les courbes granulométriques sur un graphique de type normalisé AFNOR, qui comporte en abscisse une graduation logarithmique, ce qui présente l'avantage d'une graduation équidistante en module successifs ; outre l'intérêt que présente l'utilisation d'un graphique normalisé, cette échelle linéaire en module a l'avantage de la simplicité d'établissement.

IV.1.1. Données de bases

- La dimension maximale des granulats est $D_{\max} = 25\text{mm}$.
- les granulats utilisés sont de bonne qualité, d'où $G=0,5$ (d'après le tableau (II.6))
- La résistance caractéristique désirée est $f_{c28}=25\text{ MPa}$ (valeur prise généralement pour le calcul des structures en béton armé), en s'attendant à une certaine dispersion de résistance, on visera donc comme résistance moyenne à 28 jours :

$$f_c = \sigma'_{28} = 25 + 0,15 * 25 = 28,75\text{ MPa}$$

- le béton désiré est un béton plastique de vibration courante, soit : $A=8$
- le ciment utilisé est le CEMII 42,5 d'où $\sigma'_c = 42,5\text{MPa}$

IV.1.2. Dosage en ciment

On commence par évaluer approximativement le rapport C/E en fonction de la résistance moyenne souhaitée

Le rapport C/E est calculé grâce à la formule de Bolomey :

$$\sigma'_{28} = G' \sigma'_c (C/E - 0.5) \Rightarrow C/E = 1,85$$

L'abaque de la figure (II.1) donne pour C/E=1,85 et A=8cm, un dosage en ciment $C=375\text{Kg/m}^3$

IV.1.3. Dosage en eau

Connaissant le dosage en ciment ($C = 375 \text{ Kg/m}^3$) et le rapport ($C/E = 1,85$), on peut déterminer la quantité d'eau à utiliser pour 1 m^3 de béton.

On a : $C/E = 1,85 \Rightarrow E \cong 200 \text{ Kg/m}^3$.

IV.1.4. Détermination de la composition du béton ordinaire à base de sable lavé 0/3 (BO1)

Sur le graphique semi-logarithmique, on trace les courbes granulométriques des granulats 0/3, 8/15 et 15/25.

IV.1.4.1. Tracé de la courbe granulaire de référence

La composition granulométrique optimale est représentée par une ligne brisée OAB, cette courbe nous permet de déterminer les différents pourcentages (%) des granulats entrants dans la composition du béton

Coordonnées des points O, A et B

- Le point O :

-abscisse : 0,08mm

-ordonnée : 0 %

- Le point B :

A l'ordonnée 100% correspond à la dimension D du plus gros granulat.

-abscisse : 25 mm

-ordonnée : 100%

- Le point A : (point de brisure), a des coordonnées ainsi définies :

- En abscisse :

Si $D \leq 20 \text{ mm}$; l'abscisse est $D/2$.

Si $D > 20 \text{ mm}$; l'abscisse est située au milieu du segment délimité par D et par le tamis de maille 5 mm.

Dans notre cas: $D > 20 \text{ mm}$ ($D = 25 \text{ mm}$).

Alors l'abscisse du point A est située au milieu du segment délimité par D et par le tamis 5 mm.

- En ordonnée:

$$Y = 50 - \sqrt{D} + K + K_p + K_s$$

Avec :

K : un terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité du serrage, de la forme des granulats, et également du module de finesse.

Les valeurs de K sont indiquées dans le tableau (II.9)

Dans notre cas : - dosage en ciment = 375 Kg/m³.

- Vibration normale.
- Granulats roulé+concassés.

D'où : K=0

K_p=0

$$K_s = (6 \times 3,10) - 15 = 3,6$$

Donc :

$$Y = 50 - 5 + 3,6 = 48,60\%$$

La courbe granulaire de référence est tracée sur le même graphique que les courbes granulométriques des granulats voire la figure ci-dessous :

Reste à savoir les proportions des gravillons et de sable.

On trace, alors les lignes de partage entre chacun des granulats, en joignant le point à 95% de la courbe granulaire du premier, au point de 5 % de la courbe granulaire suivante et ainsi de suite.

On lira alors sur la courbe de référence, au point de croisement avec les lignes de partage, le pourcentage de chacun des granulats 0/3, 3/8, 8/15 et 15/25; qui sont respectivement: 32 %, 10 %, 20% et 38 % (voir figure).

IV.1.4.2. Tracé de la courbe représentative du mélange des granulats

Les valeurs des tamisât (en %) de la courbe de mélange, sont calculées à partir des analyses granulométriques des granulats et des pourcentages de ces derniers, obtenus précédemment.

Ces valeurs des tamisât sont données par le tableau suivant :

Tableau IV.1.Valeurs des tamisats (%) de la courbe de mélange pour le BO1

Tamis (mm)	Tamisât (%) S (0/3)	Tamisât (%) G ₁ (3/8)	Tamisât (%) G ₂ (8/15)	Tamisât (%) G ₃ (15/25)	Tamisât (%) 0.32S+0.10G ₁ +0.20G ₂ +0.38 G ₃
0.08	1	0	0	0	0
0.16	2	0	0	0	1
0.315	12	0	0	0	4
0.63	34	0	0	0	11
1.25	58	4	0	0	19
2.5	84	12	1	0	28
05	100	72	2	0	40
6.3	100	91	8	0	43
08	100	100	30	0	48
10	100	100	55	1	53
12.5	100	100	75	3	58
16	100	100	100	37	76
20	100	100	100	76	91
25	100	100	100	100	100

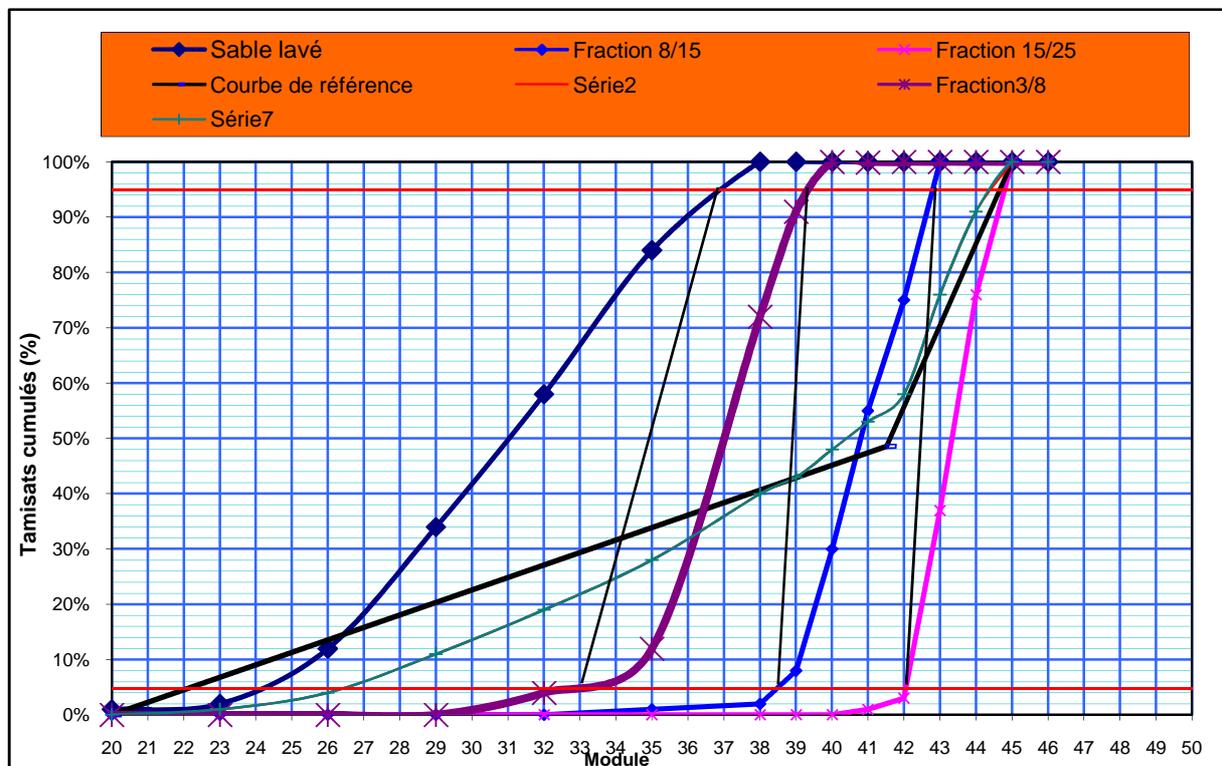


Figure IV.1.Composition de BO1

Remarque

Après le tracé de la courbe de mélange (voir figure IV.1), on remarque que cette dernière s'approche très bien de la courbe de référence (elles sont presque confondues) ; donc la granulométrie du mélange est bonne.

IV.1.4.3. Dosage des granulats

On calcule au premier lieu le coefficient de la compacité, il est donné par la formule suivante :

$$\gamma = V_m/1000$$

Avec :

V_m : volume absolu des matières solides.

$$V_m = V_G + V_S + V_C \quad (\text{litres}).$$

- V_G : Volume des gravillons.

- V_S : Volume du sable.

- V_C : Volume du ciment.

Les valeurs du coefficient de compacité (γ) sont données dans le tableau de (II.10)

On a une consistance plastique, vibration normale et d'après ce dernier tableau, on détermine γ comme suit :

$$\text{Pour } D = 20 \text{ mm} \rightarrow \gamma = 0.825$$

$$\text{Pour } D = 25 \text{ mm} \rightarrow \gamma = ?$$

$$\text{Pour } D = 31.5 \text{ mm} \rightarrow \gamma = 0.830$$

Donc, on aura $\gamma = 0.827$ pour $D = 25 \text{ mm}$.

Dans notre cas, on a un sable roulé et gravier concassé, pour cela en va apporter une correction de (-0.01).

$$\text{D'où, } \gamma_{\text{corr}} = 0.827 - 0.01 = 0.817.$$

❖ Calcul des Volumes absolus des constituants solides

- Volume total absolu : $1000 \times \gamma = 817$ litres.

- Volume absolu du ciment : $V_c = 375/3.1 \cong 121$ litres (en admettant une masse spécifique de 3.1 pour les grains de ciment, valeur moyenne habituellement admise).

- Volume absolu des trois (03) granulats utilisés : $817 - 121 = 696$ litres.

Alors les volumes absolus des constituants sont les suivants :

- Volume absolu du sable 0/3696 x 0.32 = 222.03 litres.
- Volume absolu du gravier 3/8.....696 x 0.10 = 69.60 litres.
- Volume absolu du gravier 8/15.....696 x 0.20 = 139.20 litres.
- Volume absolu du gravier 15/25696 x 0.38 = 264.48 litres.
- Volume absolu du ciment121.00 litres.

Total = 817 litres.

❖ Calcul des Dosages des granulats et de ciment en (Kg/m³)

On obtient ces dosages, en multipliant le volume absolu de chaque granulat par sa masse volumique absolue (ρ_s).

- Sable 0/3.....222.03 x 2.53 = 561.74 Kg/m³.
- Gravier 3/869.60 x 2.64 = 183.74 Kg/m³.
- Gravier 8/15139.20 x 2.64 = 367.49 Kg/m³.
- Gravier 15/25.....264.48 x 2.63 = 695.58 Kg/m³.
- Ciment121.00 x 3.10 = 375 Kg/m³.

La densité théorique du béton frais est égale à : $\Delta_0=2183.54$

❖ Calcul des Dosages des granulats en (litres/m³)

On obtient ces dosages, en divisant le dosage de chaque granulat en (Kg/m³) par sa masse volumique apparente (ρ_{app}) on obtient :

- Sable 0/3.....561.74/ 1.54= 364.76 litres/m³.
- Gravier 3/8183.74/1.41 = 130.31 litres/m³.
- Gravier 8/15369.49/1.39 = 265.82 litres/m³.
- Gravier 15/25.....695.58 / 1.35= 515.54 litres/m³.

IV.1.4.4. Présentation des résultats

Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau (IV.2)

Tableau IV.2. Résultats de composition de BO1

Constituants	% des granulats	ρ_s (g/cm ³)	ρ_{app} (g/cm ₃)	V _{absolu} des Constituants (litres)	Dosage des Constituants (Kg/m ³)	Dosage des Constituants (litres/m ³)
Gravier 15/25	38	2,63	1,35	265	696	516
Gravier 8/15	20	2,64	1,39	139	368	266
Gravier 3/8	10	2,64	1,41	70	184	130
Sable 0/3	32	2,53	1,54	222	562	365
ciment	-	3,10	-	121	375	-
Eau	-	1,00	1	200	200	200

IV.1.5. Détermination de la composition du béton ordinaire à base de mélange sable lavé 0/3 corrigé par le sable de dune (BO2)

Sur le graphique semi-logarithmique, on trace les courbes granulométriques des granulats 0/3, 8/15 et 15/25.

IV.1.5.1. Tracé de la courbe granulaire de référence

La composition granulométrique optimale est représentée par une ligne brisée OAB, cette courbe nous permet de déterminer les différents pourcentages (%) des granulats entrants dans la composition du béton

Coordonnées des points O, A et B

- Le point O :

-abscisse : 0,08mm

-ordonnée : 0 %

- Le point B :

A l'ordonnée 100% correspond à la dimension D du plus gros granulat.

-abscisse : 25 mm

-ordonnée : 100%

- Le point A : (point de brisure), a des coordonnées ainsi définies :

- En abscisse :

Si $D \leq 20$ mm; l'abscisse est $D/2$.

Si $D > 20$ mm; l'abscisse est située au milieu du segment délimité par D et par le tamis de maille 5 mm.

Dans notre cas: $D > 20$ mm ($D = 25$ mm).

Alors l'abscisse du point A est située au milieu du segment délimité par D et par le tamis 5 mm.

- En ordonnée:

$$Y = 50 - \sqrt{D} + K + K_p + K_s$$

Avec :

K : un terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité du serrage, de la forme des granulats, et également du module de finesse.

Les valeurs de K sont indiquées dans le tableau (II.9)

Dans notre cas : - dosage en ciment = 375 Kg/m^3 .

- Vibration normale.
- Granulats roulé+concassés.

D'où : $K=0$

$K_p=0$

$K_s = (6 \times 2,8) - 15 = 1,8$

Donc :

$$Y = 50 - 5 + 1,8 = 46,80\%$$

La courbe granulaire de référence est tracée sur le même graphique que les courbes granulométriques des granulats voire la figure ci-dessous :

Reste à savoir les proportions des gravillons et de sable.

On trace, alors les lignes de partage entre chacun des granulats, en joignant le point à 95% de la courbe granulaire du premier, au point de 5 % de la courbe granulaire suivante et ainsi de suite.

On lira alors sur la courbe de référence, au point de croisement avec les lignes de partage, le pourcentage de chacun des granulats 0/3, 3/8, 8/15 et 15/25; qui sont respectivement: 30 %, 10 %, 22% et 38 % (voir figure).

IV.1.5.2. Tracé de la courbe représentative du mélange des granulats

Les valeurs des tamisât (en %) de la courbe de mélange, sont calculées à partir des analyses granulométriques des granulats et des pourcentages de ces derniers, obtenus précédemment.

Ces valeurs des tamisât sont données par le tableau suivant :

Tableau IV.3.Valeurs des tamisats (%) de la courbe de mélange pour le BO2

Tamis (mm)	Tamisât (%) S (0/3)	Tamisât (%) G ₁ (3/8)	Tamisât (%) G ₂ (8/15)	Tamisât (%) G ₃ (15/25)	Tamisât (%) 0.30S+0.10G ₁ +0.22G ₂ +0.38 G ₃
0.08	2	0	0	0	1
0.16	12	0	0	0	4
0.315	21	0	0	0	6
0.63	47	0	0	0	14
1.25	61	4	0	0	19
2.5	83	12	1	0	26
05	100	72	2	0	38
6.3	100	91	8	0	41
08	100	100	30	0	47
10	100	100	55	1	53
12.5	100	100	75	3	58
16	100	100	100	37	76
20	100	100	100	76	91
25	100	100	100	100	100

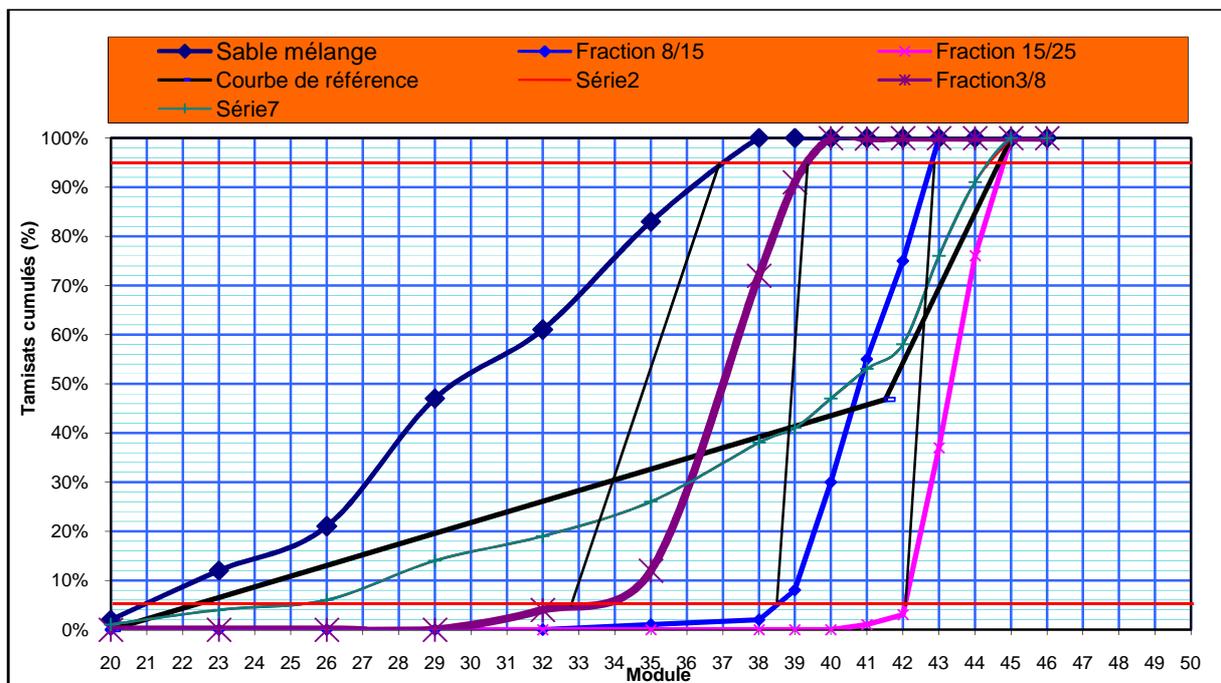


Figure IV.2.Composition de BO2

Remarque

Après le tracé de la courbe de mélange (voir figure IV.2), on remarque que cette dernière s'approche très bien de la courbe de référence (elles sont presque confondues) ; donc la granulométrie du mélange est bonne.

IV.1.5.3. Dosage des granulats

On calcule le coefficient de la compacité, il est donné par la formule suivante :

$$\gamma = V_m/1000$$

Avec :

V_m : volume absolu des matières solides.

$$V_m = V_G + V_S + V_C \quad (\text{litres}).$$

- V_G : Volume des gravillons.

- V_S : Volume du sable.

- V_C : Volume du ciment.

Les valeurs du coefficient de compacité (γ) sont données dans le tableau de (II.10)

On a une consistance plastique, vibration normale et d'après ce dernier tableau, on détermine γ comme suit :

$$\text{Pour } D = 20 \text{ mm} \rightarrow \gamma = 0.825$$

$$\text{Pour } D = 25 \text{ mm} \rightarrow \gamma = ?$$

$$\text{Pour } D = 31.5 \text{ mm} \rightarrow \gamma = 0.830$$

Donc, on aura $\gamma = 0.827$ pour $D = 25 \text{ mm}$.

Dans notre cas, on a un sable roulé et gravier concassé, pour cela en va apporter une correction de (-0.01).

$$\text{D'où, } \gamma_{\text{corr}} = 0.827 - 0.01 = 0.817.$$

❖ Calcul des Volumes absolus des constituants solides

- Volume total absolu : $1000 \times \gamma = 817$ litres.

- Volume absolu du ciment : $V_c = 375/3.1 \cong 121$ litres (en admettant une masse spécifique de 3.1 pour les grains de ciment, valeur moyenne habituellement admise).

- Volume absolu des trois (03) granulats utilisés : $817 - 121 = 696$ litres.

Alors les volumes absolus des constituants sont les suivants :

- Volume absolu du sable 0/3696 x 0.30 = 208.80 litres.
- Volume absolu du gravier 3/8.....696 x 0.10 = 69.60 litres.
- Volume absolu du gravier 8/15.....696 x 0.22 = 153.12 litres.
- Volume absolu du gravier 15/25696 x 0.38 = 264.48 litres.
- Volume absolu du ciment121.00 litres.

Total = 817 litres.

❖ Calcul des Dosages des granulats et de ciment en (Kg/m³)

On obtient ces dosages, en multipliant le volume absolu de chaque granulat par sa masse volumique absolue (ρ_s).

- Sable 0/3.....208.80 x 2.60= 542.88 Kg/m³.
- Gravier 3/869.60 x 2.64 = 183.74 Kg/m³.
- Gravier 8/15153.12 x 2.64 = 404.23 Kg/m³.
- Gravier 15/25.....264.48 x 2.63 = 695.58 Kg/m³.
- Ciment121.00 x 3.10 = 375 Kg/m³.

-La densité théorique du béton frais est égale à : $\Delta_0 = 2201.54$.

❖ Calcul des Dosages des granulats en (litres/m³)

On obtient ces dosages, en divisant le dosage de chaque granulat en (Kg/m³) par sa masse volumique apparente (ρ_{app}) on obtient :

- Sable lavé +dune 0/3.....542.88/ 1.47= 369.3 litres/m³.
- Gravier 3/8183.74/1.41 = 130.31 litres/m³.
- Gravier 8/15404.23/1.39 = 290.81 litres/m³.
- Gravier 15/25.....695.58 / 1.35= 515.54 litres/m³.

IV.1.5.4. Présentation des résultats

Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau (IV.4)

Tableau IV.4. Résultats de composition de BO2

Constituants	% des granulats	ρ_s (g/cm ³)	ρ_{app} (g/cm ₃)	V _{absolu} des Constituants (litres)	Dosage des Constituants (Kg/m ³)	Dosage des Constituants (litres/m ³)
Gravier 15/25	38	2,63	1,35	265	696	516
Gravier 8/15	20	2,64	1,39	153	404	291
Gravier 3/8	10	2,64	1,41	70	184	130
Sable 0/3	32	2,53	1,54	209	543	369
cement	-	3,10	-	121	375	-
Eau	-	1,00	1	200	200	200

IV.1.6. Détermination de la composition du béton ordinaire à base de mélange sable lavé corrigé par la fraction de calcaire broyé (BO3)

Sur le graphique semi-logarithmique, on trace les courbes granulométriques des granulats 0/3, 8/15 et 15/25.

IV.1.6.1. Tracé de la courbe granulaire de référence

La composition granulométrique optimale est représentée par une ligne brisée OAB, cette courbe nous permet de déterminer les différents pourcentages (%) des granulats entrants dans la composition du béton

Coordonnées des points O, A et B

- Le point O :

-abscisse : 0,08mm

-ordonnée : 0 %

- Le point B :

A l'ordonnée 100% correspond à la dimension D du plus gros granulats.

-abscisse : 25 mm

-ordonnée : 100%

- **Le point A** : (point de brisure), a des coordonnées ainsi définies :

- **En abscisse** :

Si $D \leq 20$ mm; l'abscisse est $D/2$.

Si $D > 20$ mm; l'abscisse est située au milieu du segment délimité par D et par le tamis de maille 5 mm.

Dans notre cas: $D > 20$ mm ($D = 25$ mm).

Alors l'abscisse du point A est située au milieu du segment délimité par D et par le tamis 5 mm.

- En ordonnée:

$$Y = 50 - \sqrt{D} + K + K_p + K_s$$

Avec :

K : un terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité du serrage, de la forme des granulats, et également du module de finesse.

Les valeurs de **K** sont indiquées dans le tableau (II.9)

Dans notre cas : - dosage en ciment = 375 Kg/m^3 .

- Vibration normale.
- Granulats roulé+concassés.

D'où : $K=0$

$K_p=0$

$K_s = (6 \times 2,8) - 15 = 1,8$

Donc :

$$Y = 50 - 5 + 1,8 = 46,80\%$$

La courbe granulaire de référence est tracée sur le même graphique que les courbes granulométriques des granulats voire la figure ci-dessous :

Reste à savoir les proportions des gravillons et de sable.

On trace, alors les lignes de partage entre chacun des granulats, en joignant le point à 95% de la courbe granulaire du premier, au point de 5 % de la courbe granulaire suivante et ainsi de suite.

On lira alors sur la courbe de référence, au point de croisement avec les lignes de partage, le pourcentage de chacun des granulats 0/3 ,3/8, 8/15 et 15/25; qui sont respectivement: 30 %, 10% ,22% et 38 % (voir figure).

IV.1.6.2.Tracé de la courbe représentative du mélange des granulats

Les valeurs des tamisât (en %) de la courbe de mélange, sont calculées à partir des analyses granulométriques des granulats et des pourcentages de ces derniers, obtenus précédemment.

Ces valeurs des tamisât sont données par le tableau suivant :

Tableau IV.5.Valeurs des tamisats (%) de la courbe de mélange pour le BO3

Tamis (mm)	Tamisât (%) S (0/3)	Tamisât (%) G ₁ (3/8)	Tamisât (%) G ₂ (8/15)	Tamisât (%) G ₃ (15/25)	Tamisât (%) 0.30S+0.10G ₁ +0.22G ₂ +0.38 G ₃
0.08	2	0	0	0	1
0.16	13	0	0	0	4
0.315	20	0	0	0	6
0.63	36	0	0	0	11
1.25	65	4	0	0	20
2.5	86	12	1	0	27
05	100	72	2	0	38
6.3	100	91	8	0	41
08	100	100	30	0	47
10	100	100	55	1	53
12.5	100	100	75	3	58
16	100	100	100	37	76
20	100	100	100	76	91
25	100	100	100	100	100

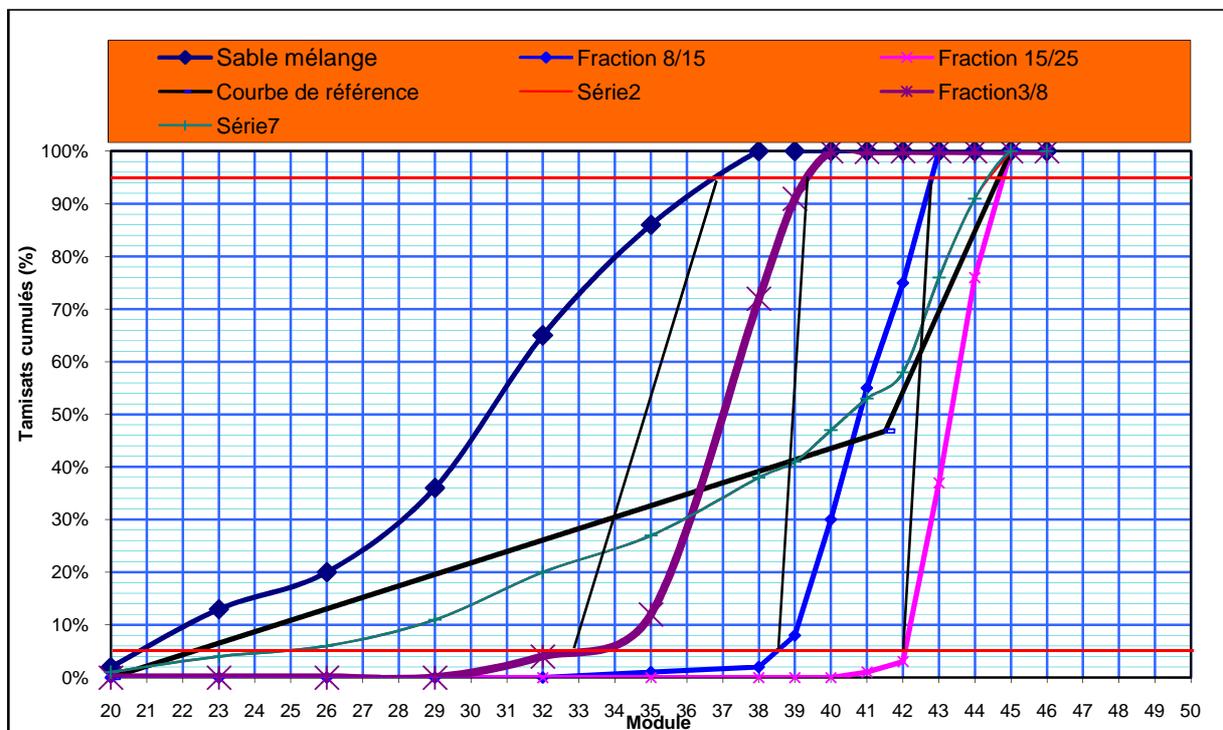


Figure IV.3.Composition de BO3

Remarque

Après le tracé de la courbe de mélange (Figure IV.3), on remarque que cette dernière s'approche très bien de la courbe de référence (elles sont presque confondues) ; donc la granulométrie du mélange est bonne.

IV.1.6.3. Dosage des granulats

On calcul le coefficient de la compacité, il est donné par la formule suivante :

$$\gamma = V_m/1000$$

Avec :

V_m : volume absolu des matières solides.

$$V_m = V_G + V_S + V_C \quad (\text{litres}).$$

- V_G : Volume des gravillons.

- V_S : Volume du sable.

- V_C : Volume du ciment.

Les valeurs du coefficient de compacité (γ) sont données dans le tableau de (II.10)

On a une consistance plastique, vibration normale et d'après ce dernier tableau, on détermine γ comme suit :

$$\text{Pour } D = 20 \text{ mm} \rightarrow \gamma = 0.825$$

$$\text{Pour } D = 25 \text{ mm} \rightarrow \gamma = ?$$

$$\text{Pour } D = 31.5 \text{ mm} \rightarrow \gamma = 0.830$$

Donc, on aura $\gamma = 0.827$ pour $D = 25 \text{ mm}$.

Dans notre cas, on a un sable roulé et gravier concassé, pour cela en va apporter une correction de (-0.01).

$$\text{D'où, } \gamma_{\text{corr}} = 0.827 - 0.01 = 0.817.$$

❖ Calcul des Volumes absolus des constituants solides

- Volume total absolu : $1000 \times \gamma = 817$ litres.

- Volume absolu du ciment : $V_c = 375/3.1 \cong 121$ litres (en admettant une masse spécifique de 3.1 pour les grains de ciment, valeur moyenne habituellement admise).

- Volume absolu des trois (03) granulats utilisés : $817 - 121 = 696$ litres.

Alors les volumes absolus des constituants sont les suivants :

- Volume absolu du sable 0/3696 x 0.30 = 208.80 litres.
- Volume absolu du gravier 3/8.....696 x 0.10 = 69.60 litres.
- Volume absolu du gravier 8/15.....696 x 0.22 = 153.12 litres.
- Volume absolu du gravier 15/25696 x 0.38 = 264.48 litres.
- Volume absolu du ciment121.00 litres.

 Total = 817 litres.

❖ Calcul des Dosages des granulats et de ciment en (Kg/m³)

On obtient ces dosages, en multipliant le volume absolu de chaque granulat par sa masse volumique absolue (ρ_s).

- Sable 0/3.....208.80 x 2.62= 547.06 Kg/m³.
- Gravier 3/869.60 x 2.64 = 183.74 Kg/m³.
- Gravier 8/15153.12 x 2.64 = 404.23 Kg/m³.
- Gravier 15/25.....264.48 x 2.63 = 695.58 Kg/m³.
- Ciment121.00 x 3.10 = 375 Kg/m³.

 La densité théorique du béton frais est égale à : $\Delta_0 = 2205.61 \text{ Kg/m}^3$

❖ Calcul des Dosages des granulats en (litres/m³)

On obtient ces dosages, en divisant le dosage de chaque granulat en (Kg/m³) par sa masse volumique apparente (ρ_{app}) on obtient :

- Sable lavé +dune 0/3.....547.06/ 1.55= 352.94 litres/m³.
- Gravier 3/8183.74/1.41 = 130.31 litres/m³.
- Gravier 8/15404.23/1.39 = 290.81 litres/m³.
- Gravier 15/25.....695.58 / 1.35= 515.54 litres/m³.

IV.1.6.4. Présentation des résultats

Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau (IV.6)

Tableau IV.6. Résultats de composition de BO3

Constituants	% des granulats	ρ_s (g/cm ³)	ρ_{app} (g/cm ³)	V _{absolu} des Constituants (litres)	Dosage des Constituants (Kg/m ³)	Dosage des Constituants (litres/m ³)
Gravier 15/25	38	2,63	1,35	265	696	516
Gravier 8/15	20	2,64	1,39	153	404	291
Gravier 3/8	10	2,64	1,41	70	184	130
Sable 0/3	32	2,53	1,54	209	547	354
cement	-	3,10	-	121	375	-
Eau	-	1,00	1	200	200	200

IV.1.7. Détermination de la composition du béton ordinaire à base de mélange de sable carrière 0/3 (BO4)

Sur le graphique semi-logarithmique, on trace les courbes granulométriques des granulats 0/3, 8/15 et 15/25.

IV.1.7.1. Tracé de la courbe granulaire de référence

La composition granulométrique optimale est représentée par une ligne brisée OAB, cette courbe nous permet de déterminer les différents pourcentages (%) des granulats entrants dans la composition du béton

Coordonnées des points O, A et B

- Le point O :

-abscisse : 0,08mm

-ordonnée : 0 %

- Le point B :

A l'ordonnée 100% correspond à la dimension D du plus gros granulats.

-abscisse : 25 mm

-ordonnée : 100%

- Le point A : (point de brisure), a des coordonnées ainsi définies :

- En abscisse :

Si $D \leq 20$ mm; l'abscisse est $D/2$.

Si $D > 20$ mm; l'abscisse est située au milieu du segment délimité par D et par le tamis de maille 5 mm.

Dans notre cas: $D > 20$ mm ($D = 25$ mm).

Alors l'abscisse du point A est située au milieu du segment délimité par D et par le tamis 5 mm.

- En ordonnée:

$$Y = 50 - \sqrt{D} + K + K_p + K_s$$

Avec :

K : un terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité du serrage, de la forme des granulats, et également du module de finesse.

Les valeurs de **K** sont indiquées dans le tableau (II.9)

Dans notre cas : - dosage en ciment = 375 Kg/m^3 .

- Vibration normale.
- Granulats concassés.

D'où : $K=1$

$K_p=0$

$K_s = (6 \times 2,85) - 15 = 2,1$

Donc :

$$Y = 50 - 5 + 1 + 2,1 = 48,10\%$$

La courbe granulaire de référence est tracée sur le même graphique que les courbes granulométriques des granulats voire la figure ci-dessous :

Reste à savoir les proportions des gravillons et de sable.

On trace, alors les lignes de partage entre chacun des granulats, en joignant le point à 95% de la courbe granulaire du premier, au point de 5 % de la courbe granulaire suivante et ainsi de suite.

On lira alors sur la courbe de référence, au point de croisement avec les lignes de partage, le pourcentage de chacun des granulats 0/3, 3/8, 8/15 et 15/25; qui sont respectivement: 32 %, 10% ,20% et 38 % (voir figure).

IV.1.7.2.Tracé de la courbe représentative du mélange des granulats

Les valeurs des tamisât (en %) de la courbe de mélange, sont calculées à partir des analyses granulométriques des granulats et des pourcentages de ces derniers, obtenus précédemment.

Ces valeurs des tamisât sont données par le tableau suivant :

Tableau IV.7.Valeurs des tamisats (%) de la courbe de mélange pour le BO4

Tamis (mm)	Tamisât (%) S (0/3)	Tamisât (%) G ₁ (3/8)	Tamisât (%) G ₂ (8/15)	Tamisât (%) G ₃ (15/25)	Tamisât (%) 0.32S+0.10G ₁ +0.20G ₂ +0.38 G ₃
0.08	11	0	0	0	4
0.16	22	0	0	0	7
0.315	28	0	0	0	9
0.63	37	0	0	0	12
1.25	54	4	0	0	18
2.5	79	12	1	0	27
05	96	72	2	0	38
6.3	100	91	8	0	43
08	100	100	30	0	48
10	100	100	55	1	53
12.5	100	100	75	3	58
16	100	100	100	37	76
20	100	100	100	76	91
25	100	100	100	100	100

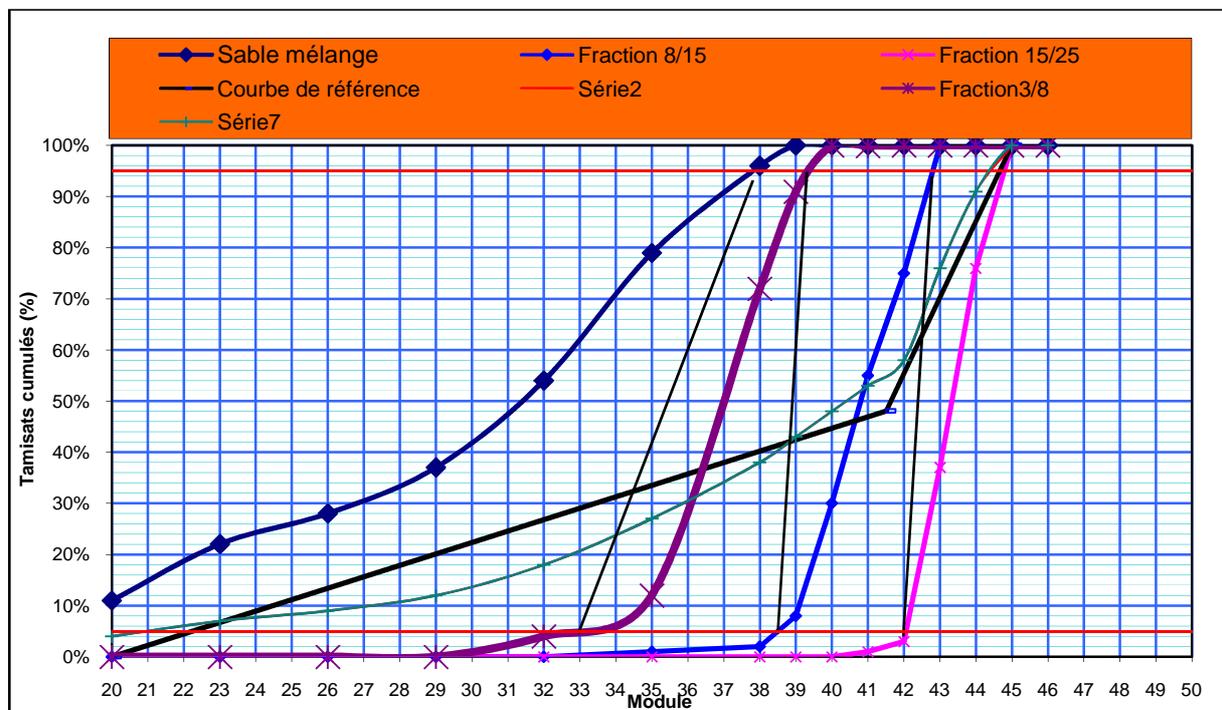


Figure IV.3.Composition de BO4

Remarque

Après le tracé de la courbe de mélange (voir figure IV.3), on remarque que cette dernière s'approche très bien de la courbe de référence (elles sont presque confondues) ; donc la granulométrie du mélange est bonne.

IV.1.7.3. Dosage des granulats

On calcul le coefficient de la compacité, il est donné par la formule suivante :

$$\gamma = V_m/1000$$

Avec :

V_m : volume absolu des matières solides.

$$V_m = V_G + V_S + V_C \quad (\text{litres}).$$

- V_G : Volume des gravillons.

- V_S : Volume du sable.

- V_C : Volume du ciment.

Les valeurs du coefficient de compacité (γ) sont données dans le tableau de (II.10)

On a une consistance plastique, vibration normale et d'après ce dernier tableau, on détermine γ comme suit :

$$\text{Pour } D = 20 \text{ mm} \rightarrow \gamma = 0.825$$

$$\text{Pour } D = 25 \text{ mm} \rightarrow \gamma = ?$$

$$\text{Pour } D = 31.5 \text{ mm} \rightarrow \gamma = 0.830$$

Donc, on aura $\gamma = 0.827$ pour $D = 25 \text{ mm}$.

Dans notre cas, on a un sable concassé et gravier concassé, pour cela en va apporter une correction de (-0.03).

$$\text{D'où, } \gamma_{\text{corr}} = 0.827 - 0.03 = 0.797.$$

❖ Calcul des Volumes absolus des constituants solides

- Volume total absolu : $1000 \times \gamma = 797$ litres.

- Volume absolu du ciment : $V_c = 375/3.1 \cong 121$ litres (en admettant une masse spécifique de 3.1 pour les grains de ciment, valeur moyenne habituellement admise).

- Volume absolu des trois (03) granulats utilisés : $797 - 121 = 676$ litres.

Alors les volumes absolus des constituants sont les suivants :

- Volume absolu du sable 0/3676 x 0.32 = 216.32 litres.
- Volume absolu du gravier 3/8.....676 x 0.10 = 67.60 litres.
- Volume absolu du gravier 8/15.....676 x 0.20 = 135.20 litres.
- Volume absolu du gravier 15/25676 x 0.38 = 256.88 litres.
- Volume absolu du ciment121.00 litres.

Total = 817 litres.

Calcul des Dosages des granulats et de ciment en (Kg/m³)

On obtient ces dosages, en multipliant le volume absolu de chaque granulat par sa masse volumique absolue (ρ_s).

- Sable 0/3.....216.32 x 2.64= 571.08 Kg/m³.
- Gravier 3/867.60 x 2.64 = 178.46 Kg/m³.
- Gravier 8/15135.20 x 2.64 = 356.92 Kg/m³.
- Gravier 15/25.....256.88 x 2.63 = 675.59 Kg/m³.
- Ciment121.00 x 3.10 = 375 Kg/m³.

La densité théorique du béton frais est égale à : $\Delta_0=2157.05 \text{ Kg/m}^3$

Calcul des Dosages des granulats en (litres/m³)

On obtient ces dosages, en divisant le dosage de chaque granulat en (Kg/m³) par sa masse volumique apparente (ρ_{app}) on obtient :

- Sable de carrière571.08/ 1.54= 370.83 litres/m³.
- Gravier 3/8178.46/1.41 = 126.56 litres/m³.
- Gravier 8/15356.92/1.39 = 256.77 litres/m³.
- Gravier 15/25.....675.49 / 1.35= 500.36 litres/m³.

IV.1.7.4. Présentation des résultats

Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau (IV.8)

Tableau IV.8. Résultats de composition de BO4

Constituants	% des granulats	ρ_s (g/cm ³)	ρ_{app} (g/cm ₃)	V _{absolu} des Constituants (litres)	Dosage des Constituants (Kg/m ³)	Dosage des Constituants (litres/m ³)
Gravier 15/25	38	2,63	1,35	257	676	500
Gravier 8/15	20	2,64	1,39	135	357	257
Gravier 3/8	10	2,64	1,41	68	179	127
Sable 0/3	32	2,53	1,54	216	571	371
Cement	-	3,10	-	121	375	-
Eau	-	1,00	1	200	200	200

IV.2. Conclusion

D'après les résultats nous constatons que les quantités des granulats obtenus pour la composition des quatre types de béton ordinaire sont proches quelque soit le type de sable utilisé, cela nous permet de comparer les résultats lors de la confection des bétons.

CHAPITRE V
ETUDE EXPERIMENTALE ET INTERPRETATION
DES RESULTATS

V.1.Confection des bétons [30]

Le malaxage des bétons à été effectué à l'aide d'un malaxeur à cuve horizontale tournante d'une capacité de 80 litres. Le but recherché est de répartir, dans la masse, le plus régulièrement possible, chaque constituant afin de rendre le mélange homogène, et d'obtenir ainsi les mêmes propriétés, qu'une quantité identique prise en un endroit différent.

La vitesse du malaxeur combinée à l'action des coteaux et du rotor interne a permis une bonne dispersion du liant et une homogénéisation du mélange. La séquence d'introduction des différents matériaux dans le malaxeur est faite comme suit :

-on verse les gros éléments, sable, liant, et seront malaxés à sec pendant 1 minute, l'eau sera rajoutée et le malaxage sera poursuivi pendant 2 à 3 minutes.

-on commence les essais immédiatement.

La gâchée exécutée en laboratoire pour des essais d'études doit qu'elle permette d'obtenir un volume de béton compacté excédant celui des éprouvettes d'au moins 25%.

La quantité de la gâchée nécessaire pour confectionner 6 éprouvettes de dimension (16x32) est $V_T \cong 0.05 \text{ m}^3$ donc l'essai de la gâchée est réalisé sur $\frac{1}{20}$ de mètre cube de béton.

Donc, pour une gâchée, les poids des composants nécessaires sont les suivant :

Tableau V.1.les quantités des composants des quatre types de béton

Type de béton	Les constituants (Kg)					
	Sable 0/3	Gravier 3/8	Gravier 8/15	Gravier 15/25	Ciment	Eau
BO1	28.10	7.20	18.40	34.80	18.75	10.00
BO2	27.15	7.20	20.20	34.80	18.75	10.00
BO3	27.35	7.20	20.20	34.80	18.75	10.00
BO4	28.55	8.95	17.85	33.80	18.75	10.00

V.2.Essais sur béton frais

Plusieurs essais sont effectués pour évaluer les propriétés et la qualité du béton à l'état frais, les plus importants sont les suivants :

V.2.1.Essai d'affaissement au cône d'Abrams (NF P 18-451) [30]

C'est l'essai le plus couramment utilisé, car il est très simple à mettre en œuvre. Il s'agit de constater l'affaissement d'un cône de béton sous l'effet de son propre poids.

Les résultats d'affaissement au cône d'Abrams sont représentés dans le tableau (V.2)

Tableau V.2. Résultats d'affaissement au cône d'Abrams

Type de béton	Affaissement 'A' (cm)
BO1	12
BO2	9
BO3	7.5
BO4	7

➤ Interprétation de résultats

D'après la norme (NF P 18-451), pour les bétons BO2, BO3 et BO4 l'affaissement ($5\text{cm} \leq A \leq 9\text{cm}$), donc les bétons réalisés sont à l'état plastique et en est pas loin de l'affaissement souhaité.

Pour le béton BO1 l'affaissement $A > 9$ cm et cela est due à la finesse du sable lavé 0/3 qui est un sable gossier ; pauvre de particules fines qui absorbe l'eau.

En effet la correction du module de finesse du sable lavé 0/3, nous a permis d'obtenir l'affaissement souhaité.

V.2.2.Essai de contrôle du volume d'air entraîné (NF P 18-353) [30]

Il s'agit d'évaluer la quantité d'air occlus dans le béton à l'état frais.

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau (V.3)

Tableau V.3. volume d'air occlus dans pour les quatre types de béton

Type de béton	Volume moyen de l'air occlus (%)
BO1	1,45
BO2	1,30
BO3	1,10
BO4	1,20

➤ Interprétation de résultats

Lors du malaxage du béton, il y a création des bulles d'air et la mise en place du béton en ferme toujours une certaine quantité d'aire occlus. Par apport aux résultats obtenus, on constate que le volume d'aire décroît en présence de particules fines car ces dernières remplissent les pores existant entre les grains, ce qui augmente la compacité du béton.

V.3. Prélèvement des échantillons [31]

Après avoir réalisé les essais sur le béton frais, on a procédé au prélèvement des échantillons de béton conformément à la norme (NA 424). Des moules cylindriques (éprouvettes), doivent être parfaitement nettoyés avec une application d'une pellicule d'huile minéral pour faciliter le démoulage. Pour la mesure de la résistance en compression, on a confectionné des jeux de trois éprouvettes de section (16x32) cm² pour des essais de compression à différentes âges (7 jours, 28 jours, 3 mois et 6 mois).

Les moules ont été remplis en trois couches d'épaisseurs égales consolidées par une tige vibrante. Les éprouvettes sont conservées dans leurs moules durant une période de 24 heures environ à une température de 20°C±2°.

V.4. Mode de mûrissement [33]

Immédiatement après le démoulage effectué soigneusement, les éprouvettes sont conservées dans l'eau à une température ambiante. Cette conservation est maintenue jusqu'au moment de l'essai.

V.5.Masse volumique fraîche [30]

La détermination de la masse volumique permet d'effectuer une correction éventuelle du mélange réalisé à partir des pesées respectives des matériaux utilisés lors du malaxage.

Les résultats sont suffisamment précis pour calculer la quantité de béton produite par gâchée.

Le teste fournit des indications sur la teneur en air pourvu que les densités des ingrédients soient connues. Il faut prendre soin de consolider le béton convenablement, soit en le pilonnant ou en appliquant une vibration interne, et araser la surface avec un objet plat afin d'obtenir une surface lisse. La masse volumique s'exprime en Kg/m^3 , soit le volume de béton produit par gâchée en mètre cube et la masse volumique fraîche d'une série de béton est la moyenne de six (06) éprouvette.

Les valeurs obtenues pour les quatre types de béton sont données par le tableau (V.4) et schématisées par la figure (V.1)

Tableau V.4.Evaluation de la masse moyenne des quatre types de béton en fonction du temps

Type de béton	Masse en (grs)					
	0h	1 jour	3 jours	7 jours	21 jours	28 jours
BO1	15716	15602	15641	15688	15708	15712
BO2	15521	15456	15510	15521	15551	15650
BO3	15569	15492	15525	15580	15596	15718
BO4	15722	15610	15650	15690	15766	15850

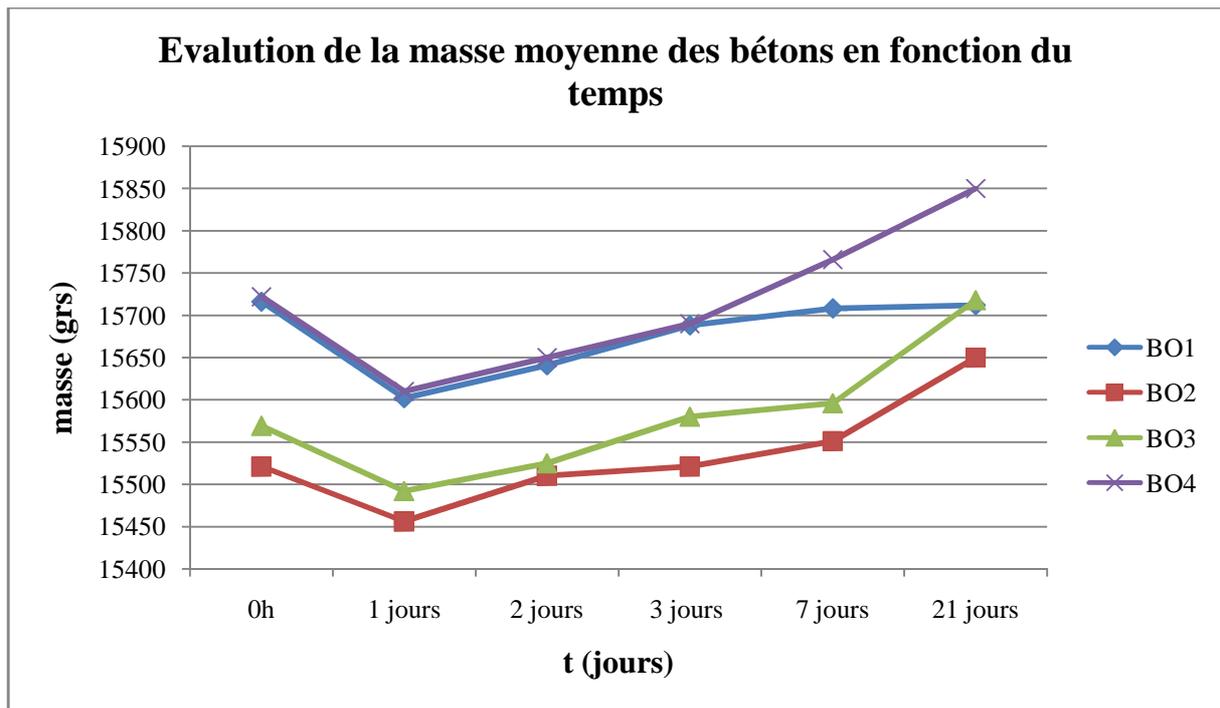


Figure V.1. Evaluation de la masse moyenne pour les quatre types de bétons en fonction du temps

➤ Interprétation des résultats

Le béton à base de sable de carrière (BO4) présente une masse moyenne relativement supérieure à celle du béton à base de sable lavé, cette différence est due d'une part à l'écart de densité entre le sable de carrière et le sable lavé (2,64 et 2,53 dans cet ordre) et d'autre part à la différence de compacité des deux bétons.

Le béton (BO1) présente une masse moyenne supérieure à celles des bétons (BO2) et (BO3), est cela est due au volume des vides qui est important, ce qui implique une absorption de l'eau importante tant que les éprouvettes sont conservées dans l'eau.

V.6. Essais réalisés sur le béton durci

V.6.1. Masse volumique

Après avoir retiré les éprouvettes de leur milieu de conservation, il convient de les dessécher avant de les peser.

-Les valeurs des masses volumiques obtenues pour les quatre types de béton sont données par le tableau (V.5) et schématisées sur la figure (V.2).

Tableau V.5. Evaluation de la masse volumique moyenne pour les quatre types de béton en fonction du temps

Type de béton	Masses volumiques en (g/cm ³)					
	0h	1 jour	3 jours	7 jours	21 jours	28 jours
BO1	2.45	2.43	2.44	2.45	2.45	2.46
BO2	2.43	2.41	2.42	2.43	2.43	2.44
BO3	2.43	2.42	2.43	2.43	2.44	2.46
BO4	2.46	2.44	2.45	2.45	2.46	2.48

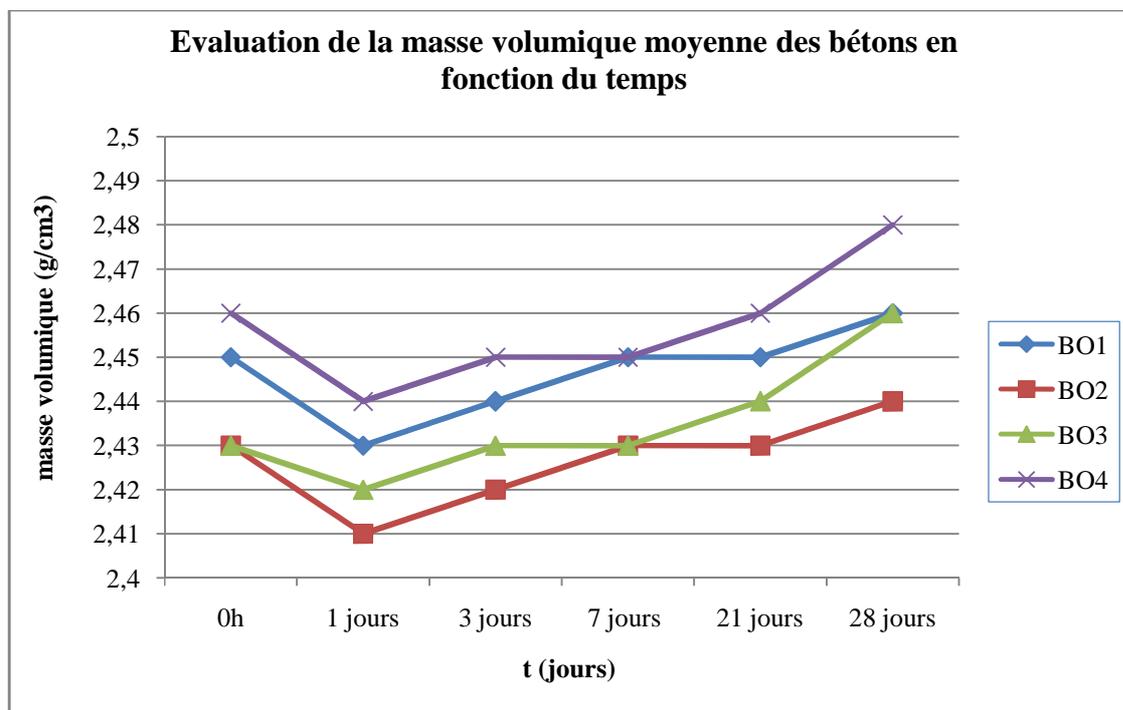


Figure V.2. Evaluation de la masse volumique moyenne pour les quatre types de bétons en fonction du temps

➤ **Interprétation des résultats**

A partir de l'allure des courbes tracées, nous constatons une chute de la masse volumique entre les temps 0h et 3 jours, et cela revient à l'exposition des bétons à l'air ambiant, ce qui dit le séchage du béton et l'évaporation de l'eau.

A partir de 24h, on observe une augmentation des masses volumiques des bétons, qui s'explique par l'hydratation continue des grains de ciment, sachant que les éprouvettes ont été conservées dans l'eau.

Nous constatons que le béton BO4, qui est à base de sable de carrière présente des masses volumiques supérieures à celles des bétons confectionnés avec le sable lavé ce qui se traduit probablement par une porosité élevée des bétons à base de sable lavé, donc une compacité faible.

Le béton (BO1) présente une masse volumique supérieure à celles des bétons (BO2) et (BO3), La teneur en air du béton (BO1) relativement importante par rapport aux deux autres bétons lui a conféré une compacité moindre, donc une pénétration facile de l'eau à l'intérieure des pores, ensuite une augmentation de la masse volumique.

V.6.2. Calcul de la masse volumique sèche [32]

V.6.2.1. Calcul de la masse volumique sèche théoriquement

La formule qui nous permet de calculer théoriquement la masse volumique sèche est la suivante :

$$\rho_{\text{Sèche théorique}} = 1.25C + G$$

Avec :

C : la quantité de ciment en Kg/m^3

G : la masse des granulats sec en Kg/m^3

1.25 : est un facteur composé de 100% de la teneur en ciment +25% de la masse du ciment qu'est liée chimiquement à l'eau.

a) BO1

la masse des granulats sec G continue dans un mètre cube de béton donnée par l'utilisation de sable lavée seul est $G=1809 \text{ Kg/m}^3$, $C=375 \text{ Kg/m}^3$

$$\rho_{\text{Sèche théorique}} = 1.25 \times 375 + 1809 = 2278 \text{ Kg/m}^3 \text{ soit : } 2.28 \text{ g/cm}^3$$

b) BO2

la masse des granulats sec G continue dans un mètre cube de béton donnée par l'utilisation de mélange sable lavée corrigé par le sable de dune est $G=1790 \text{ Kg/m}^3$, $C=375 \text{ Kg/m}^3$

$$\rho_{\text{Sèche théorique}} = 1.25 \times 375 + 1790 = 2259 \text{ Kg/m}^3 \text{ soit : } 2.26 \text{ g/cm}^3$$

c) BO3

La masse des granulats sec G continue dans un mètre cube de béton donnée par l'utilisation de mélange sable lavée corrigé par le calcaire broyé est $G=1794 \text{ Kg/m}^3$, $C=375 \text{ Kg/m}^3$

$$\rho_{\text{Sèche théorique}} = 1.25 \times 375 + 1794 = 2263 \text{ Kg/m}^3 \text{ soit : } 2.26 \text{ g/cm}^3$$

d) BO4

la masse des granulats sec G continue dans un mètre cube de béton donnée par l'utilisation de mélange sable de carrière est $G=1782 \text{ Kg/m}^3$, $C=375 \text{ Kg/m}^3$

$$\rho_{\text{Sèche théorique}} = 1.25 \times 375 + 1782 = 2251 \text{ Kg/m}^3 \text{ soit : } 2.25 \text{ g/cm}^3$$

V.6.2.2. Calcule de la masse volumique sèche à 28 jours

Pour calculer la masse volumique sèche du béton à 28 jours on doit suivre les étapes suivantes :

- Après l'écrasement des éprouvettes, un échantillon de béton est immédiatement récupéré.
- ensuite on prend le poids de l'échantillon
- on étuve l'échantillon à 105 C° pendant 24h.
- après séchage, et refroidissement on prend le poids de l'échantillon.
- connaissons la masse d'une éprouvette à 28 jour, son volume ($V=6400 \text{ cm}^3$) ainsi que les masses avant et après étuvage, par la méthode des trois on déduit la masse de l'éprouvette M à l'état sec.

-En fin on calcule la masse volumique sèche tel que : $\rho_{\text{sèche}} = M/6400 \text{ (g/cm}^3\text{)}$

a) BO1

La masse moyenne des éprouvettes à 28 jours est égale à 15712 grs, le poids de l'échantillon récupéré après écrasement est égale à 780 grs et sa masse après étuvage est égale à 720 grs.

Par la méthode des trois, on calcule la masse sèche M de l'éprouvette de la façon suivante :

$$780\text{g} \quad \longrightarrow \quad 711\text{g}$$

$$15712\text{g} \quad \longrightarrow \quad M$$

$$\text{D'où : } M=14322 \text{ g} \quad \implies \quad \rho_{\text{sèche calculée}}=2,24$$

b) BO2

$$679\text{g} \quad \longrightarrow \quad 626\text{g}$$

$$15650\text{g} \quad \longrightarrow \quad M$$

$$\text{D'où : } M=14428\text{g} \quad \implies \quad \rho_{\text{sèche calculée}}=2,25$$

c) BO3

$$854\text{g} \quad \longrightarrow \quad 792\text{g}$$

$$15718\text{g} \quad \longrightarrow \quad M$$

$$\text{D'où : } M=14576\text{g} \quad \implies \quad \rho_{\text{sèche calculée}}=2,27$$

d) BO4

956g → 833g

16850 g → M

D'où : $M=14682g \Rightarrow \rho_{\text{sèche calculée}}=2,29$ **➤ Interprétation des résultats**

D'après les résultats trouvés on peut constater que les masses volumique calculées à 28 jours sont proches à celles calculées théoriquement; ce qui nous renseigne sur l'homogénéité du béton.

La masse volumique sèche du béton à base de sable de carrière est supérieure à celle du béton à base de sable lavé ce qui explique que les fines du sable de carrière permet d'obtenir un béton plus compacte donc plus dense.

On constate aussi que l'introduction d'éléments fins dans le sable lavé a amélioré la compacité des bétons (BO2) et (BO3) ce qui fait augmenter la masse volumique sèche.

La masse volumique sèche de BO1 est inférieure à celle de BO2 et BO3 en raison du départ de l'eau libre dans les pores au cours de séchage.

V.6.3.Essai de compression (NF P18-406)**V.6.3.1.Expression des résultats**

$$R_c = \frac{F}{A} \quad \text{Avec :}$$

R_c : résistance à la compression en N/mm^2

F : charge de rupture en Newtons (N)

A : surface de la face perpendiculaire de l'éprouvette mm^2 .

V.6.3.2.Présentation des résultats

-les résultats obtenus à 7 jours ,28 jours, 3 mois et 6 mois proviennent de la moyenne entre les trois échantillons sont représentés dans l'annexe C, et schématisés sur la figure (V.3)

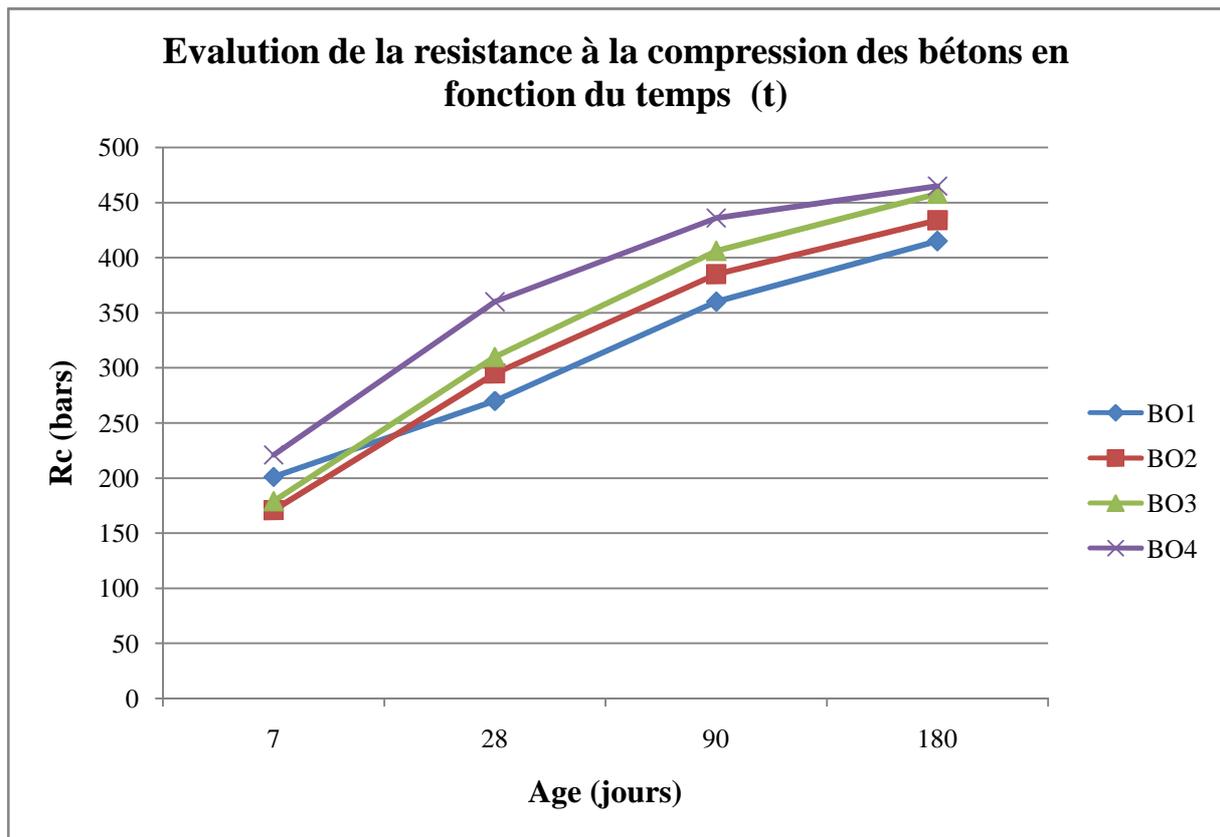


Figure V.3. Evaluation de la résistance à la compression des bétons en fonction du temps

➤ Interprétation des résultats

D'après les courbes tracés sur la figure (V.3), nous remarquons que la résistance à la compression des quatre types de béton augmente en fonction du temps, ceci revient à l'augmentation de la compacité de béton due au processus d'hydratation de ciment (diminution de volume des vides) ; les constituants trouvent une grande facilité à ce réarrangé d'une manière plus compact.

On remarque que les résistances maximales pour les quatre types de bétons sont obtenues à l'âge de 180 jours, ceci nous permet de dire que le mélange de chaque type de béton est optimisé dans sont squelette.

On remarque que le béton (BO4) composé a base de sable de carrière donne des résistances meilleure par apport aux trois autres types de bétons composés à base de sable lavé 0/3, ceci est dû a la qualité du sable lavé 0/3 qui est un sable légèrement argileux ($VB=1,33>1$), ces impuretés perturbent l'hydratation du ciment et entraînent des adhérences entre les granulats et la pâte ce qui influe sur la résistance à la compression .

Les résistances à la compression des deux types de béton (BO2) et (BO3) composés à base de sable lavé corrigé sont supérieures à celle du béton (BO1) composé de sable lavé non corrigé, ceci est dû à l'augmentation de la compacité par l'introduction d'éléments fins dans le sable lavé 0/3.

V.7. Corrections effectuées sur les quatre types de béton selon la méthode de Dreux-Gorisse

V.7.1. Correction effectuée sur BO1

- Calcul de la densité réelle Δ :

On a le poids moyen des éprouvettes à 28 jours est :

$$P_{\text{ép}} = 15712 \text{ grs est } V_{\text{ép}} = 6400 \text{ cm}^3 \Rightarrow \Delta = 2.46 \text{ g/cm}^3.$$

- La densité théorique Δ_0 :

La densité théorique obtenue à partir des dosages des constituants est :

$$\Delta_0 = 2183,54 \text{ Kg/m}^3 \cong 2.18 \text{ g/cm}^3.$$

On a: ($\Delta = 2.46 \text{ g/cm}^3$) > ($\Delta_0 = 2.18 \text{ g/cm}^3$). Ce qui implique que la composition du béton réalisée donne un peu moins d'un mètre cube de béton.

($\Delta - \Delta_0$) > 0 \Rightarrow Le béton est sous dosé de granulats. Alors, on apportera des corrections sur les masses de ces dernières.

- Masses totale des granulats en Kg = 1000 ($\Delta - \Delta_0$) = 1000 (2,46-2,18) = 280 Kg.

Soit :

- 280 x 0.32 = 89.6 Kg de sable 0/3.

- 280 x 0.10 = 28 Kg de gravier 3/8.

- 280 x 0.20 = 56 Kg de gravier 8/15.

- 280 x 0.38 = 106.4 Kg de gravier 15/25.

D'où, les dosages corrigés des constituants (en Kg/m³) :

- Sable 0/3.....561.74 + 89.6 = 651.34 Kg/m³.

- Gravier 3/8.....183.74+ 28= 211.74 Kg/m³.

- Gravier 8/15.....367.49+ 56 = 423.49 Kg/m³.

- Gravier 15/25.....695.58+ 106.4 = 801.98 Kg/m³.

- Ciment.....375 Kg/m³.

- Eau.....200 Kg/m³.

V.7.2. Correction effectuée sur BO2

- Calcul de la densité réelle Δ :

On a le poids moyen des éprouvettes à 28 jours est :

$$P_{\text{ép}} = 15650 \text{ grs est } V_{\text{ép}} = 6400 \text{ cm}^3 \Rightarrow \Delta = 2.44 \text{ g/cm}^3.$$

- La densité théorique Δ_0 :

La densité théorique obtenue à partir des dosages des constituants est :

$$\Delta_0 = 2201,54 \text{ Kg/m}^3 \cong 2.20 \text{ g/cm}^3.$$

On a: $(\Delta = 2.44 \text{ g/cm}^3) > (\Delta_0 = 2.20 \text{ g/cm}^3)$. Ce qui implique que la composition du béton réalisée donne un peu moins d'un mètre cube de béton.

$(\Delta - \Delta_0) > 0 \Rightarrow$ Le béton est sous dosé de granulats. Alors, on apportera des corrections sur les masses de ces dernières.

- Masses totale des granulats en Kg = $1000 (\Delta - \Delta_0) = 1000(2,44 - 2,20) = 240 \text{ Kg}$.

Soit :

- $240 \times 0.30 = 72 \text{ Kg}$ de sable 0/3.
- $240 \times 0.10 = 24 \text{ Kg}$ de gravier 3/8.
- $240 \times 0.22 = 52.8 \text{ Kg}$ de gravier 8/15.
- $240 \times 0.38 = 91.2 \text{ Kg}$ de gravier 15/25.

D'où, les dosages corrigés des constituants (en Kg/m^3) :

- Sable 0/3..... $542.88 + 72 = 614.88 \text{ Kg/m}^3$.
- Gravier 3/8..... $183.74 + 24 = 207.74 \text{ Kg/m}^3$.
- Gravier 8/15..... $404.23 + 52.8 = 457.03 \text{ Kg/m}^3$.
- Gravier 15/25..... $695.58 + 91.2 = 786.78 \text{ Kg/m}^3$.
- Ciment..... 375 Kg/m^3 .
- Eau..... 200 Kg/m^3 .

V.7.3. Correction effectuée sur BO3

- Calcul de la densité réelle Δ :

On a le poids moyen des éprouvettes à 28 jours est :

$$P_{\text{ép}} = 15718 \text{ grs est } V_{\text{ép}} = 6400 \text{ cm}^3 \Rightarrow \Delta = 2.45 \text{ g/cm}^3.$$

- La densité théorique Δ_0 :

La densité théorique obtenue à partir des dosages des constituants est :

$$\Delta_0 = 2205.54 \text{ Kg/m}^3 \cong 2.21 \text{ g/cm}^3.$$

On a: $(\Delta = 2.45 \text{ g/cm}^3) > (\Delta_0 = 2.21 \text{ g/cm}^3)$. Ce qui implique que la composition du béton réalisée donne un peu moins d'un mètre cube de béton.

$(\Delta - \Delta_0) > 0 \Rightarrow$ Le béton est sous dosé de granulats. Alors, on apportera des corrections sur

les masses de ces dernières.

- Masses totale des granulats en Kg = $1000 (\Delta - \Delta_0) = 1000(2,45 - 2,21) = 240$ Kg.

Soit :

- $240 \times 0,30 = 72$ Kg de sable 0/3.
- $240 \times 0,10 = 24$ Kg de gravier 3/8.
- $240 \times 0,22 = 52,8$ Kg de gravier 8/15.
- $240 \times 0,38 = 91,2$ Kg de gravier 15/25.

D'où, les dosages corrigés des constituants (en Kg/m³) :

- Sable 0/3..... $547,08 + 72 = 619,08$ Kg/m³.
- Gravier 3/8..... $183,74 + 24 = 207,74$ Kg/m³.
- Gravier 8/15..... $404,23 + 52,8 = 457,03$ Kg/m³.
- Gravier 15/25..... $695,58 + 91,2 = 786,78$ Kg/m³.
- Ciment..... 375 Kg/m³.
- Eau..... 200 Kg/m³.

V.7.4. Correction effectuée sur BO4

- Calcul de la densité réelle Δ :

On a le poids moyen des éprouvettes à 28 jours est :

$P_{\text{ép}} = 15850$ grs est $V_{\text{ép}} = 6400$ cm³ $\Rightarrow \Delta = 2,47$ g/cm³.

- La densité théorique Δ_0 :

La densité théorique obtenue à partir des dosages des constituants est :

$\Delta_0 = 2157,05$ Kg/m³ $\cong 2,16$ g/cm³.

On a : $(\Delta = 2,47 \text{ g/cm}^3) > (\Delta_0 = 2,16 \text{ g/cm}^3)$. Ce qui implique que la composition du béton réalisée donne un peu moins d'un mètre cube de béton.

$(\Delta - \Delta_0) > 0 \Rightarrow$ Le béton est sous dosé de granulats. Alors, on apportera des corrections sur les masses de ces dernières.

- Masses totale des granulats en Kg = $1000 (\Delta - \Delta_0) = 1000(2,47 - 2,16) = 310$ Kg.

Soit :

- $310 \times 0,32 = 99,2$ Kg de sable 0/3.
- $310 \times 0,10 = 31$ Kg de gravier 3/8.
- $310 \times 0,20 = 62$ Kg de gravier 8/15.
- $310 \times 0,38 = 117,8$ Kg de gravier 15/25.

D'où, les dosages corrigés des constituants (en Kg/m³) :

- Sable 0/3.....571.08 + 99.2 = 670.28 Kg/m³.
- Gravier 3/8.....178.46+ 31= 209.46 Kg/m³.
- Gravier 8/15..... 356.92+ 62 = 418.92 Kg/m³.
- Gravier 15/25.....675.59+ 117.8 =793.39 Kg/m³.
- Ciment.....375 Kg/m³.
- Eau.....200 Kg/m³.

V.8.Essai de retrait

Mesure du retrait sur éprouvette de béton (NF P 15-433)

Ce phénomène, très complexe, fera l'objet d'une étude sur le retrait du béton.

V.8.1.Objectif de l'essai

L'essai de retrait consiste à mesurer, en fonction du temps, la variation de longueur que provoque le béton utilisé sur des éprouvettes prismatiques de dimensions (10x10x50) cm³ de béton.

V.8.2.Principe de l'essai

On compare, à différents temps t, la variation de longueur d'une éprouvette (10x10x50) cm³, par rapport à sa longueur à un temps t₀ pris comme origine.

V.8.3.Conduite de l'essai

On prépare une série de trois éprouvettes pour chaque type de béton.

- **Dosage ou pesée des constituants**

Le calcul de dosage des constituants se fait alors pour la préparation de trois (03) éprouvettes (10x10x50) cm³.

On a le volume d'un prisme de béton $V=0,1 \times 0,1 \times 0,5=0,005 \text{ m}^3$

Donc le volume de trois prismes $=3 \times 0,005=0,015 \text{ m}^3$ or, la quantité de la gâchée exécutée au laboratoire doit nous permettre d'obtenir un volume de béton compacté excédant celui des éprouvettes d'au moins 25%.

Alors, le volume de la gâchée sera donc : $V_T=0,015+0,25 \times 0,015=0,019 \text{ m}^3$

Les quantités des composants pour les quatre types de béton sont les suivantes :

Tableau V.10. Les quantités des composants pour les quatre types de béton

Type de béton	Les constituants (Kg/m ³)					
	Sable 0/3	Gravier 3/8	Gravier 8/15	Gravier 15/25	Ciment	Eau
BO1	10.68	2,74	6,99	13.22	7.13	3,8
BO2	10,32	2.74	7,68	13.22	7.13	3.8
BO3	10.39	2.74	7.68	13.22	7.13	3.8
BO4	10.85	3,40	6,78	12,84	7.13	3.8

- **Mode de conservation**

Les éprouvettes sont conservées à l'air libre.

- **Epoque des mesures**

Les mesures effectuées sur les quatre séries d'éprouvettes ont lieu aux temps suivants :

-Au démoulage (1jour), mesure origine des variations, jusqu'au 180^{ème} jour.

V.8.4. Résultats obtenus

Les résultats de la variation du retrait aux différentes époques obtenues jusqu'à 6 mois, sont représentés dans les tableaux de l'annexe D et schématisés sur la figure (V.4).

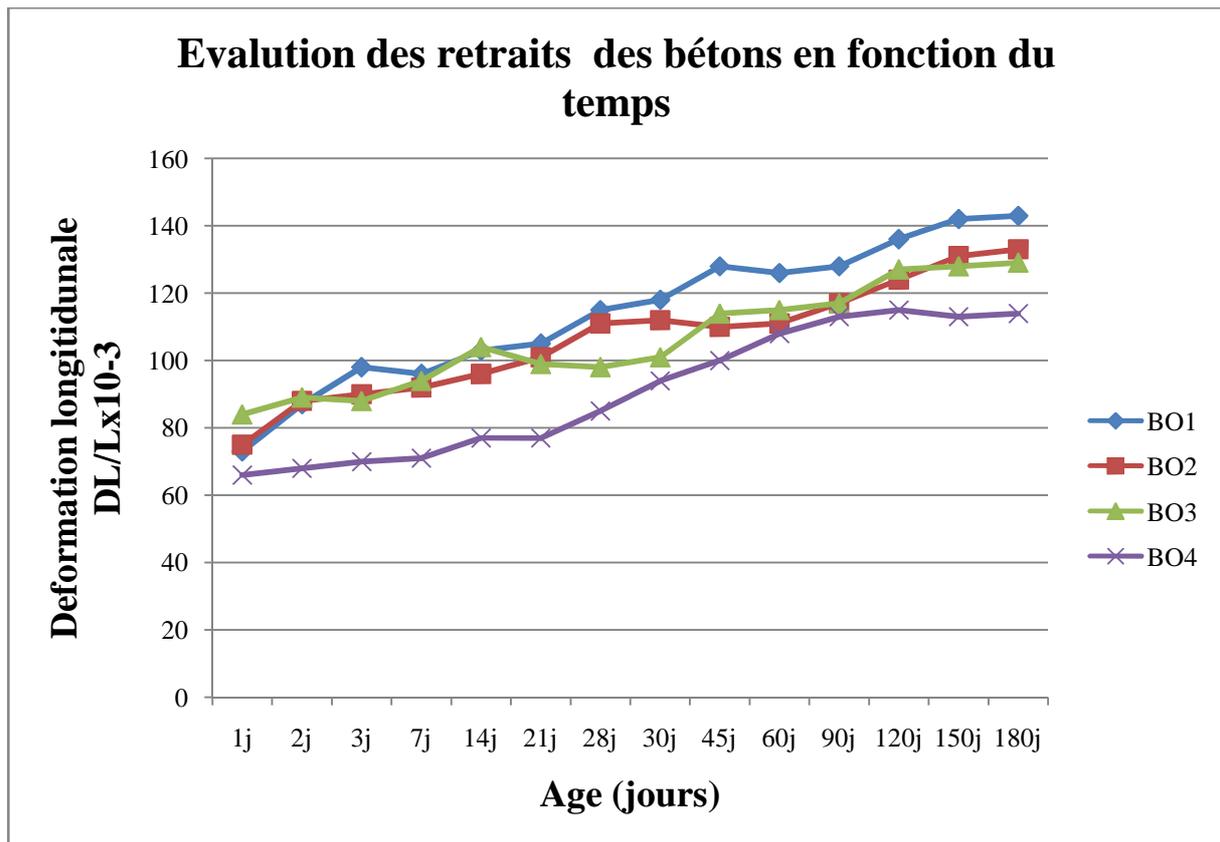


Figure V.4. Evaluation des retraits sur les prismes de béton en fonction du temps

➤ Interprétation et discussion des résultats

Les résultats présentés sur la figure (V.4), montre que la variation de retrait des prismes de béton formulé pour les quatre type de béton suis la même évolution dans le temps.

Pour tous les prismes, nous remarquons une augmentation contenue du retrait en fonction de l'âge de mesure, des changements volumétriques se produisent après prise et commençant à se stabilisés au delà de 120 jours.

La plus grande partie du retrait de séchage qui a eu lieu avant l'âge de murissement (28 jours) est la conséquence du processus de l'hydratation de la matrice cimentaire, plus exactement à la consommation de l'eau dans les réactions chimiques. A partir de cette date et jusqu'à 120 jours, le phénomène de l'hydratation commence à s'amortir et par la suite une augmentation peu importante des retraits.

Nous remarquons que le retrait dans le béton (BO1) à base de sable lavé 0/3 est plus important que le retrait dans le béton (BO4) composé a base de sable de carrière. Ceci est due a la qualité du sable lavé, qui un sable légèrement argileux ($VB=1,33>1$), ces argiles qui ont une composition minéralogique se forme de feuillets absorbe une quantité importante d'eau, une

fois le béton est séché, l'eau s'évapore ce qui provoque une forte contraction de la pâte, ceci se traduit par un retrait du béton appelé retrait de dessiccation.

La correction du sable lavé 0/3 légèrement argileux par des sable fin plus propre a permet de réduire le taux de retrait dans les bétons (BO2) et (BO3).

L'emploi du calcaire broyé dans le béton (BO3) induit une augmentation de la compacité et par conséquent une baisse du transfert d'humidité donc un retrait meilleur par rapport au deux autres bétons (BO1) et (BO2).

V.9. Evaluation de la masse moyenne sur les prismes de béton

Les valeurs obtenues pour les quatre types de béton sont données par le tableau de l'annexe E et schématisées sur la figure (V.5)

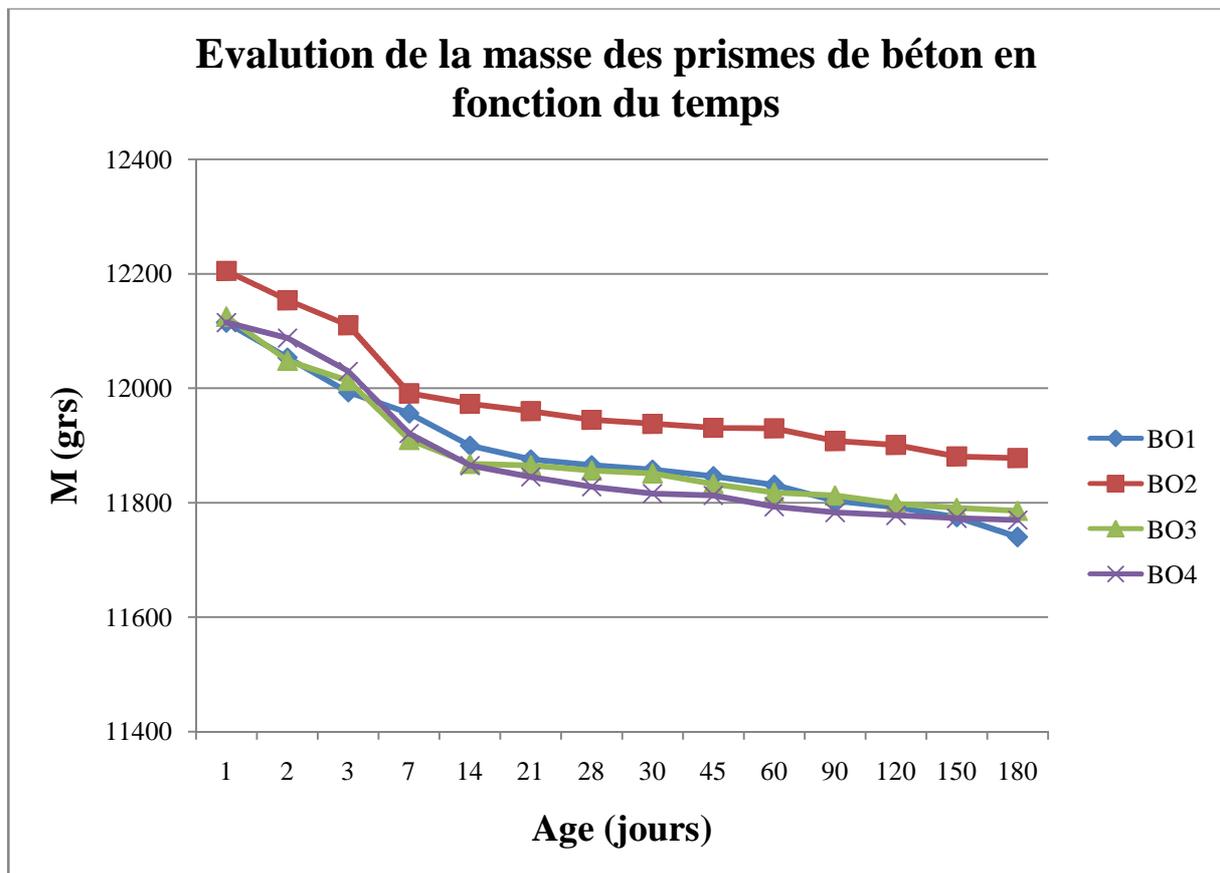


Figure V.5. Evaluation de la masse moyenne des prismes de béton en fonction du temps

➤ Interprétation des résultats est discussion

D'après la figure (V.5) nous constatons que la masse moyenne des prismes de béton diminuent en fonction du temps, et elle marque un palier de stabilité à partir de 60 jours.

Le retrait du béton s'accompagne systématiquement d'une diminution ou d'une perte de masse, due généralement au départ de l'eau qui s'évapore au cours du temps.

Nous constatons aussi que la masse moyenne des prismes de béton (BO1) a diminué de façon considérable, cela montre l'importance de la quantité d'eau absorbé par l'argile contenue dans le sable lavé, cette eau emprisonnée s'évapore ce qui provoque une perte de masse.

V.9.Conclusion

D'après les résultats expérimentaux en conclus que :

- La résistance mécanique en compression et les retraits du béton à base de sable de carrière est largement supérieure à celles du béton à base de sable lavé.
- L'utilisation de sable lavé tel qu'il est dans un béton ordinaire montre des insuffisances en termes d'ouvrabilité, résistance et retrait, Et cela est dû en sa qualité de sable grossier.
- La correction de sable lavé nous a permet d'améliorer ses caractéristique ce qui a influencé considérablement sur les propriétés du béton ordinaire à court terme et à long terme

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

L'objectif de ce travail était de répondre clairement aux objectifs préalablement posés. En premier lieu, évaluer les conséquences potentielles à l'emploi des deux sables d'oued et de carrière sur le comportement mécanique du béton ordinaire. En deuxième lieu, comparer la durabilité et la déformation libre des prismes des bétons équivalents.

Les résultats obtenus pour les différents types de béton ordinaire nous ont permis de constater que :

- ✓ L'utilisation de la règle d'Abrams nous a permis de maîtriser la granulométrie des sables corrigés par apport aux caractéristiques souhaitées, et d'obtenir des mélanges de sable conformes à savoir la finesse et la propreté.
- ✓ Les résultats expérimentaux ont montré que la résistance mécanique en compression et les retraits du béton à base de sable de carrière est largement supérieure à celles du béton à base de sable lavé. Sa qualité en terme origine, granulométrie et propreté sont les principales explications à cette observation.
- ✓ L'utilisation de sable lavé tel qu'il est dans un béton ordinaire montre des insuffisances en termes d'ouvrabilité, résistance et retrait, Et cela est dû en sa qualité de sable grossier.
- ✓ La correction de sable lavé par le sable de dune et la fraction de calcaire nous a permis d'améliorer ses caractéristiques ce qui a influencé considérablement sur les propriétés du béton ordinaire à court terme et à long terme (résistance, compacité..etc.).
- ✓ L'utilisation de la fraction de calcaire broyé pour la correction de sable lavé donne des résistances et des retraits meilleurs d'un béton ordinaire par rapport à l'utilisation de sable de dune.

A travers cette étude, on peut constater d'une manière générale :

Les sables de carrière peuvent être utilisés dans les bétons de structure si la qualité et le taux de fines sont conformes aux spécifications en vigueur. Ces fines sont considérées comme un constituant du béton, ayant une fonction bien définie, il contribue à la compacité du béton.

L'utilisation de sable lavé dans un béton ordinaire doit être prise avec précautions, une étude de caractérisation approfondie est à prévoir, vu son origine le risque qu'il soit un sable pollué est toujours posé, ce qui influence considérablement sur les caractéristiques d'un béton à court terme et à long terme.

Conclusion Générale

La substitution partielle du sable lavé par d'autres sables de qualité en proportions bien définies dans un béton ordinaire est l'une des voies de valorisation possible pour ce sable qui est en quantité abondante dans nos sablières.

La correction du module de finesse du sable lavé par le sable de dune et la fraction de calcaire broyé nous ont permis d'obtenir des mélanges de sable de qualité acceptable à utiliser dans un béton ordinaire.

Pour un même dosage en ciment dans une composition de béton ordinaire, l'utilisation de sable de carrière (carrière Djebel Yousef «Bouandas») donne de meilleurs résultats que l'apport au sable lavé.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **Georges DREUX et Jean FESTA**, nouveau guide du béton, septième édition EYROLLES 1995
- [2] **Vicat.L.**, La technologie du béton .GUF\FORMATION\BETON\TACHNOBETON vo5_01. Degussa construction cheicals France. 140p
- [3] **Adam M. NEVILLE** ; Propriétés des bétons, Éditions Eyrolles, traduit par le CRIB
- [4] **Georges Arquié et Claude Toureq**, granulats, presses de l'école nationale des ponts et chaussées.
- [5] **GILLES CHANVILLARD**, Le matériau béton : connaissance générales, ENTPE ALEAS, octobre 1999.
- [6] **Boutiba.A**, accélération du durcissement par énergies renouvelables du béton frais et caractérisation du béton durci. Thèse de magister. Physique et mécanique des matériaux. Université M'hand Bougarra. Boumerdes. Algerie .136p.
- [8] **BENNA.Y** ; communication, valorisation des sable de concassage, Séminaire PUBLITECH ; Alger ; Juin 1995.
- [9] **G. DREUX**. Composition des bétons. Technique de l'ingénieur. C 2 220
- [10] **Jacques Baron et Raymond Sauterey**, LE BETON HYDROLIQUE, presses de l'école nationale des ponts et chaussées.1982
- [11] **Georges DREUX et Jean FESTA**. Nouveau guide du béton, huitième édition EYROLLES 1998.
- [12] **J. P. MOUGIN**. Cours de béton armé. BAEL 91.
- [13] **FAURY. (J.)** «Le béton. Influence de ses constituants inertes. Règles à adopter pour sa meilleure composition », 3^{ème} édition, Dunod (1958).
- [14] **KADJOUR NASR- EDDINE**. Propriétés et pathologie du béton. Office des publications universitaires.

- [15] **AYRINHAC.F.**, 2005- Valorisation des cendres volantes de chaudière à lit fluidisé circulant dans la filière du génie civil. Thèse de doctorat. Institut National des sciences appliquées .Université de Toulouse .France.58p.
- [16] **Toma. G.**1999-comportement des bétons aux jeunes âges. Thèse de PhD. Université Laval. Québec. Canada.264p.
- [17] **HAOUAS.A.**2007. Comportement au jeune âge des matériaux cimentaires - caractérisation et modélisation chimio-hydro-mécanique du retrait. Thèse de doctorat. L'école normale supérieure de Cachan.
- [18] **DETRICHE .C.H**, 1996-la maîtrise de la fissuration précoce : condition de la durabilité des ouvrages. PP : 107-1288.
- [19] Normalisation Française pour la classification «granulats » NFP 18-540.
- [20] **BENNA.Y** «Communication sur la valorisation des sables de concassage» Séminaire PUBLITECH; (Alger) ; Juin 1995.
- [21] **M. BELKADI** -CTC Est- ; Communication sur «Valorisation des sables de concassage», 2^{ème} séminaire sur les technologies du béton, "Le béton, matériaux des grands défis", 17-18 septembre 2005, Hôtel Hilton -ALGER-.
- [22] **Adam M. NEVILLE** ; Propriétés des bétons, Éditions Eyrolles, traduit par le CRIB. P56.
- [23] **BENSEBTLIS-E, FERKOUS.S, HOUARI.H, GOUMMADIZ** «Mécanique des bétons sous conditions locales ; Paramètres de composition » Revue Science &Technologie B-N°24 ; Décembre 2005.
- [24] **J.F.Picardat** ; «LE BETON», Edition «brutdebeton.com».
- [25] Document technique de la cimenterie AIN EL KEBIRA.
- [26] **R. DUPAIN –R. LANCHON –JC. SAINT ARROMAN** Granulats, Sols, Ciments et Bétons .Caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire. Nouvelle édition. EDUCALIVRE.

- [27] **BOUKELLOUDA Abdelhafid**, Comparaison des caractéristiques mécaniques et retrait du béton en utilisant les différentes méthodes de compositions de béton. Mémoire magister, Université de Bejaia.
- [28] **F. Gabrusiak** «Matériaux-les granulats».
- [29] **William D. Callister, Jr**; Science et génie des matériaux; DUNOD ; p47.
- [30] **Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese Normand F. MacLeod et Richard J. McGrath** ; BULLETIN D'INGENIERIE EB101 Dosage et contrôle des mélange de béton. Septième édition Canadienne.
- [31] **M.MERZOUK Kamel**, Consultant, Veille réglementation «Mercredi du CTC Centre»
05 Octobre 2005, NA426-NA427-NA428.
- [32] **K. WESCHE** ; Baustoffe für tragend bauteile ; Beton und masswerk ; Bauverlag, Wiesbaden/Berlin, 1993. (Matériaux de construction pour élément de support).
- [33] **KADJOUR NASR- EDDINE**. Le laboratoire du béton. Office des publications universitaires.
- [34] **B.Miao** ; Effets mécaniques dus au retrait de dessiccation du béton ; Thèse de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1992.
- [35] **Franck AGOSTINI**, Inertage et valorisation des sédiments de dragage marins. Thèse de doctorat. Génie Civil. L'Ecole Centrale de Lille France, Juin 2006.

ANNEXES

FICHE TECHNIQUE [25]

AIN EL KEBIRA / CEM II A CPJ 42.5

1/. COMPOSITION CHIMIQUE	
ELEMENTS	TENEUR (%)
SiO ₂	21.26
Al ₂ O ₃	3.83
Fe ₂ O ₃	2.91
CaO	61.22
MgO	1.17
SO ₃	2.05
Na ₂	-
K ₂ O	-
Chlorures	-
CaO libre	0.56
Res. Insol.	2.64
P.A.F	6.24

2/. COMPOSITION MINERALOGIQUE DU CLINKER			
C3S	C2S	C3A	C4AF
61.34	17.54	5.59	11.93

3/. ESSAIS PHYSIQUES		
TEMPS DE PRISE	DEBUT	2h :00
	FIN	3h : 40
EXPANSION LE CHATELIER	CHAUD	2.00
	FROID	-
SURFACE SPEC.BLAINE		3301
CONSISTANCE NORMALE		26.40
4/. ESSAIS MECANIQUES		
RESISTANCE A LA FLEXION (bars)	2 jours	40.0
	7 jours	57.0
	28 jours	75.0
RESISTANCE A LA COMPRESSION (bars)	2 jours	170
	7jours	300
	28 jours	442

Annexe B : Résultats d'analyse granulométrique

Tableau : Analyse granulométrique du gravier 15/25 (Carrière Djebel Youcef «Bouandas»).			
Masse de l'échantillon soumis à l'essai : $M_{éch}=5200$ grs			
Ouverture des tamis (mm)	Refus cumulés Rn (grs)	Refus cumulés (%)	Tamisats cumulés (%)
25	0	0	100
20	1241	24	76
16	3285	63	37
12,5	5034	97	3
10	5177	99	1
8	5198	100	0

Tableau : Analyse granulométrique du gravier 8/15 (Carrière Djebel Youcef «Bouandas»).			
Masse de l'échantillon soumis à l'essai : $M_{éch}=3200$ grs			
Ouverture des tamis (mm)	Refus cumulés Rn (grs)	Refus cumulés (%)	Tamisats cumulés (%)
16	0	0	100
12,5	481	15	75
10	1444	45	55
8	2236	70	30
6,3	2961	92	8
5	3122	98	2
2,5	3197	99	1

Annexe B : Résultats d'analyse granulométrique

Tableau :Analyse granulométrique du gravier 3/8 (Carrière Djebel Youcef «Bouandas»).			
Masse de l'échantillon soumis à l'essai : Méch=800grs			
Ouverture des tamis (mm)	Refus cumulés Rn (grs)	Refus cumulés (%)	Tamisats cumulés (%)
10	0	0	100
8	0	0	100
6,3	210	9	91
5	630	28	72
2,5	1999	88	12
1,25	2160	96	4

Tableau :Analyse granulométrique du sable fin 0/3 (Carrière Djebel Youcef)			
Masse de l'échantillon soumis à l'essai : M _h =999 grs			
Ouverture des tamis (mm)	Refus cumulés Rn (grs)	Refus cumulés (%)	Tamisats cumulés (%)
5	0	0	100
2,50	94	9	91
1,250	353	35	65
0,630	538	54	56
0,315	661	66	34
0,160	720	72	28
0,080	810	81	19
0.063	992	99	1

Annexe B : Résultats d'analyse granulométrique

Tableau :Analyse granulométrique du sable lavé 0/3			
(sablère Amassin)			
Masse de l'échantillon soumis à l'essai : $M_h=1008$ grs			
Ouverture des tamis (mm)	Refus cumulés R_n (grs)	Refus cumulés (%)	Tamisats cumulés (%)
5	0	0	100
2,50	161	16	84
1,250	428	42	58
0,630	664	66	34
0,315	885	88	12
0,160	977	98	2
0,080	1001	99	1
0.063	1005	100	0

Tableau : Analyse granulométrique du sable grossier 0/3			
(Carrière Djebel Youcef)			
Masse de l'échantillon soumis à l'essai : $M_h=1320$ grs			
Ouverture des tamis (mm)	Refus cumulés R_n (grs)	Refus cumulés (%)	Tamisats cumulés (%)
5	135	10	89.8
2,50	521	40	60.5
1,250	791	60	40
0,630	983	75	25.5
0,315	1113	85	15
0,160	1173	89	11
0,080	1265	96	4
0.063	1285	97	2.5
fond	1320	100	0

Annexe B : Résultats d'analyse granulométrique

Tableau : Analyse granulométrique du mélange de sable (Carrière Djebel Youcef)			
Masse de l'échantillon soumis à l'essai : $M_h=1320$ grs			
Ouverture des tamis (mm)	Refus cumulés Rn (grs)	Refus cumulés (%)	Tamisats cumulés (%)
5	49	4	96
2,50	276	21	79
1,250	609	46	54
0,630	833	63	37
0,315	958	73	27.5
0,160	1028	78	22
0,080	1176	89	11
0.063	1225	93	7
fond	1320	100	0

Tableau : Analyse granulométrique du sable de dune			
Masse de l'échantillon soumis à l'essai : $M_h=800$ grs			
Ouverture des tamis (mm)	Refus cumulés Rn (grs)	Refus cumulés (%)	Tamisats cumulés (%)
5	0	0	100
2,50	0	0	100
1,250	0	0	100
0,630	37	5	95
0,315	443	55	45
0,160	764	95	5
0,080	780	97	3
0.063	795	99	1

Annexe B : Résultats d'analyse granulométrique

Tableau : Analyse granulométrique du mélange sable lavé 0/3 corrigé avec sable de dune			
Masse de l'échantillon soumis à l'essai : $M_h=1500$ grs			
Ouverture des tamis (mm)	Refus cumulés Rn (grs)	Refuscumulés (%)	Tamisats cumulés (%)
5	3	0	100
2,50	265	18	92
1,250	590	39	61
0,630	810	54	46
0,315	1190	79	21
0,160	1323	88	12
0,080	1478	98	2
0.063	1492	99	1

Tableau : Analyse granulométrique de la fraction de calcaire broyé			
Masse de l'échantillon soumis à l'essai : $M_h=1013$ grs			
Ouverture des tamis (mm)	Refus cumulés Rn (grs)	Refus cumulés (%)	Tamisats cumulés (%)
5	0	0	100
2,50	0	0	100
1,250	0	0	100
0,630	14	2	99
0,315	347	34	66
0,160	590	58	42
0,080	738	73	27
0.063	810	80	20

Annexe B : Résultats d'analyse granulométrique

Tableau :Analyse granulométrique du mélange sable lavé 0/3 corrigé avec la fraction de calcaire broyé			
Masse de l'échantillon soumis à l'essai : $M_h=1500$ grs			
Ouverture des tamis (mm)	Refus cumulés Rn (grs)	Refus cumulés (%)	Tamisats cumulés (%)
5	3	0	100
2,50	211	14	86
1,250	521	35	65
0,630	962	64	36
0,315	1199	80	20
0,160	1295	86	14
0,080	1476	98	2
0.063	1480	99	1

Annexe C : Résistance à la compression des bétons

Résultats de la résistance à la compression à différentes âges pour BO1

Essai N	Dimensions des éprouvettes	Poids (grs)	Charge (KN)	R/C (Kg/cm ²)	R/C Moyenne
B ₁ après 7 ^{ème} Jours	I (16x32) cm ²	15.640	448	224	201.00
	II (16x32) cm ²	15.570	306	153	
	III (16x32) cm ²	15.590	454	227	
B ₂ après 28 ^{ème} Jours	I (16x32) cm ²	15.510	526	263	270.00
	II (16x32) cm ²	15.570	556	278	
	III (16x32) cm ²	15.530	540	270	
B ₃ après 90 ^{ème} Jours	I (16x32) cm ²	15.860	692	346	360.00
	II (16x32) cm ²	15.800	722	361	
	III (16x32) cm ²	15.720	738	369	
B ₄ après 180 ^{ème} Jours	I (16x32) cm ²	15.880	880	440	415.00
	II (16x32) cm ²	15.800	770	385	
	III (16x32) cm ²	15.940	840	420	

Résultats de la résistance à la compression à différentes âges pour BO2

Essai N	Dimensions des éprouvettes	Poids (grs)	Charge (KN)	R/C (Kg/cm ²)	R/C Moyenne
B ₁ après 7 ^{ème} Jours	I (16x32) cm ²	15.470	344	172	171.00
	II (16x32) cm ²	15.440	306	153	
	III (16x32) cm ²	15.520	376	188	
B ₂ après 28 ^{ème} Jours	I (16x32) cm ²	15.670	588	294	295.00
	II (16x32) cm ²	15.630	630	315	
	III (16x32) cm ²	15.600	550	275	
B ₃ après 90 ^{ème} Jours	I (16x32) cm ²	15.830	820	410	385.00
	II (16x32) cm ²	15.710	830	415	
	III (16x32) cm ²	15.690	660	330	
B ₄ après 180 ^{ème} Jours	I (16x32) cm ²	15.840	952	476	434.00
	II (16x32) cm ²	15.800	880	440	
	III (16x32) cm ²	15.790	770	385	

Annexe C : Résistance à la compression des bétons

Résultats de la résistance à la compression à différentes âges pour BO3

Essai N	Dimensions des éprouvettes	Poids (grs)	Charge (KN)	R/C (Kg/cm ²)	R/C Moyenne
B ₁ après 7 ^{ème} Jours	I (16x32) cm ²	15.650	364	182	179.00
	II (16x32) cm ²	15.590	350	175	
	III (16x32) cm ²	15.570	360	180	
B ₂ après 28 ^{ème} Jours	I (16x32) cm ²	15.640	634	317	310.00
	II (16x32) cm ²	15.650	608	304	
	III (16x32) cm ²	15.652	618	309	
B ₃ après 90 ^{ème} Jours	I (16x32) cm ²	15.800	828	414	406.00
	II (16x32) cm ²	15.840	804	404	
	III (16x32) cm ²	15.800	800	400	
B ₄ après 180 ^{ème} Jours	I (16x32) cm ²	15.710	904	452	458.00
	II (16x32) cm ²	15.710	864	432	
	III (16x32) cm ²	15.820	980	490	

Résultats de la résistance à la compression à différentes âges pour BO4

Essai N	Dimensions des éprouvettes	Poids (grs)	Charge (KN)	R/C (Kg/cm ²)	R/C Moyenne
B ₁ après 7 ^{ème} Jours	I (16x32) cm ²	15.890	436	218	221.00
	II (16x32) cm ²	15.850	444	222	
	III (16x32) cm ²	15.850	448	224	
B ₂ après 28 ^{ème} Jours	I (16x32) cm ²	15.930	750	375	360.00
	II (16x32) cm ²	15.910	700	350	
	III (16x32) cm ²	15.700	710	355	
B ₃ après 90 ^{ème} Jours	I (16x32) cm ²	15.900	870	435	436.00
	II (16x32) cm ²	15.790	920	460	
	III (16x32) cm ²	15.920	830	415	
B ₄ après 180 ^{ème} Jours	I (16x32) cm ²	15.915	920	460	465.00
	II (16x32) cm ²	15.880	908	454	
	III (16x32) cm ²	15.940	960	480	

Valeurs du retrait sur les prismes du BO1 en fonction du temps

N°	Poids (gr)	Age (jours)	L (mm)	$d\ell(t)$ (mm)	ℓ (mm)	$\varepsilon(t) = \frac{d\ell(t)}{L}$ (mm/m)	$\varepsilon(t)$ (mm/m) Moyen
01	12095	01 jour	500	462	38	0.076	0.073
02	12090	01 jour	500	469	31	0.062	
03	12160	01 jour	500	460	40	0.080	
01	12028	02 jours	500	452	48	0.096	0.087
02	12026	02 jours	500	462	38	0.076	
03	12108	02 jours	500	455	45	0.090	
01	12000	03 jours	500	448	52	0.104	0.098
02	11990	03 jours	500	458	42	0.084	
03	11990	03 jours	500	447	53	0.106	
01	11940	07 jours	500	446	54	0.108	0.096
02	11950	07 jours	500	461	39	0.078	
03	11980	07 jours	500	448	52	0.104	
01	11875	14 jours	500	443	57	0.114	0.103
02	11875	14 jours	500	458	42	0.084	
03	11950	14 jours	500	444	56	0.112	
01	11850	21 jours	500	443	57	0.114	0.105
02	11850	21 jours	500	456	44	0.088	
03	11930	21 jours	500	443	57	0.114	
01	11845	28 jours	500	437	63	0.126	0.115
02	11835	28 jours	500	451	49	0.098	
03	11920	28 jours	500	439	61	0.122	
01	11835	30 jours	500	436	64	0.128	0.118
02	11830	30 jours	500	449	51	0.102	
03	11910	30 jours	500	437	63	0.126	
01	11825	45 jours	500	431	69	0.138	0.128
02	11815	45 jours	500	444	56	0.112	
03	11900	45 jours	500	432	68	0.136	
01	11810	60 jours	500	433	67	0.134	0.126
02	11800	60 jours	500	446	54	0.108	
03	11885	60 jours	500	432	68	0.136	
01	11785	90 jours	500	432	68	0.136	0.128
02	11765	90 jours	500	443	57	0.114	
03	11860	90 jours	500	432	68	0.136	
01	11775	120 jours	500	427	73	0.146	0.136
02	11755	120 jours	500	439	61	0.122	
03	11845	120 jours	500	430	70	0.140	
01	11755	150 jours	500	423	77	0.154	0.142
02	11740	150 jours	500	437	63	0.126	
03	11830	150 jours	500	426	74	0.148	
01	11755	180 jours	500	424	76	0.152	0.143
02	11740	180 jours	500	436	64	0.128	
03	11725	180 jours	500	425	75	0.150	

Valeurs du retrait sur les prismes du BO2 en fonction du temps

N°	Poids (gr)	Age (jours)	L (mm)	$d\ell(t)$ (mm)	ℓ (mm)	$\varepsilon(t) = \frac{d\ell(t)}{L}$ (mm/m)	$\varepsilon(t)$ (mm/m) Moyen
01	12185	01 jour	500	454	46	0.092	0.075
02	12185	01 jour	500	463	37	0.074	
03	12245	01 jour	500	470	30	0.060	
01	12125	02 jours	500	439	61	0.122	0.088
02	12145	02 jours	500	461	39	0.078	
03	12192	02 jours	500	468	32	0.064	
01	12080	03 jours	500	437	63	0.126	0.090
02	12110	03 jours	500	462	38	0.076	
03	12140	03 jours	500	466	34	0.068	
01	11970	07 jours	500	436	64	0.128	0.092
02	11980	07 jours	500	460	40	0.080	
03	12025	07 jours	500	466	34	0.068	
01	11960	14 jours	500	435	65	0.130	0.096
02	11955	14 jours	500	457	43	0.086	
03	12005	14 jours	500	463	37	0.074	
01	11945	21 jours	500	432	68	0.136	0.101
02	11945	21 jours	500	456	44	0.088	
03	11990	21 jours	500	460	40	0.080	
01	11925	28 jours	500	428	72	0.144	0.111
02	11930	28 jours	500	451	49	0.098	
03	11980	28 jours	500	455	45	0.090	
01	11925	30 jours	500	427	73	0.146	0.112
02	11920	30 jours	500	451	49	0.098	
03	11970	30 jours	500	454	46	0.092	
01	11920	45 jours	500	428	72	0.144	0.110
02	11910	45 jours	500	450	50	0.100	
03	11965	45 jours	500	456	44	0.088	
01	11920	60 jours	500	427	73	0.146	0.111
02	11910	60 jours	500	450	50	0.100	
03	11960	60 jours	500	457	43	0.086	
01	11895	90 jours	500	424	76	0.152	0.117
02	11880	90 jours	500	447	53	0.106	
03	11950	90 jours	500	453	47	0.094	
01	11890	120 jours	500	423	77	0.154	0.124
02	11875	120 jours	500	437	63	0.126	
03	11940	120 jours	500	454	46	0.092	
01	11875	150 jours	500	420	80	0.160	0.131
02	11860	150 jours	500	433	67	0.134	
03	11910	150 jours	500	450	50	0.100	
01	11870	180 jours	500	420	80	0.160	0.133
02	11860	180 jours	500	432	68	0.136	
03	11905	180 jours	500	448	52	0.104	

Valeurs du retrait sur les prismes du BO3 en fonction du temps

N°	Poids (gr)	Age (jours)	L (mm)	$d\ell(t)$ (mm)	ℓ (mm)	$\varepsilon(t) = \frac{d\ell(t)}{L}$ (mm/m)	$\varepsilon(t)$ (mm/m) Moyen
01	12224	01 jour	500	450	50	0.100	0.084
02	12126	01 jour	500	452	48	0.096	
03	12026	01 jour	500	472	28	0.056	
01	12215	02 jours	500	447	53	0.106	0.089
02	12035	02 jours	500	450	50	0.100	
03	11895	02 jours	500	470	30	0.060	
01	12185	03 jours	500	447	53	0.106	0.088
02	11995	03 jours	500	449	51	0.102	
03	11860	03 jours	500	472	28	0.056	
01	12075	07 jours	500	444	56	0.112	0.094
02	11885	07 jours	500	448	52	0.104	
03	11770	07 jours	500	476	33	0.066	
01	12035	14 jours	500	438	62	0.124	0.104
02	11840	14 jours	500	443	57	0.114	
03	11730	14 jours	500	463	37	0.074	
01	12030	21 jours	500	440	60	0.120	0.099
02	11840	21 jours	500	446	54	0.108	
03	11725	21 jours	500	465	35	0.070	
01	12025	28 jours	500	441	59	0.118	0.098
02	12830	28 jours	500	446	54	0.108	
03	11715	28 jours	500	465	35	0.070	
01	12020	30 jours	500	440	60	0.120	0.101
02	11825	30 jours	500	444	56	0.112	
03	11710	30 jours	500	464	36	0.072	
01	12000	45 jours	500	434	66	0.132	0.114
02	11810	45 jours	500	438	62	0.124	
03	11690	45 jours	500	457	43	0.086	
01	11985	60 jours	500	432	68	0.136	0.115
02	11790	60 jours	500	436	64	0.128	
03	11680	60 jours	500	459	41	0.082	
01	11980	90 jours	500	431	69	0.138	0.117
02	11785	90 jours	500	435	65	0.130	
03	11675	90 jours	500	458	42	0.084	
01	11965	120 jours	500	429	71	0.142	0.124
02	11775	120 jours	500	432	68	0.136	
03	11655	120 jours	500	453	47	0.094	
01	11960	150 jours	500	427	73	0.146	0.128
02	11765	150 jours	500	431	69	0.138	
03	11650	150 jours	500	449	51	0.102	
01	11955	180 jours	500	426	74	0.147	0.129
02	11765	180 jours	500	431	69	0.138	
03	11640	180 jours	500	448	51	0.103	

Valeurs du retrait sur les prismes du BO4 en fonction du temps

N°	Poids (gr)	Age (jours)	L (mm)	$d\ell(t)$ (mm)	ℓ (mm)	$\varepsilon(t) = \frac{d\ell(t)}{L}$ (mm/m)	$\varepsilon(t)$ (mm/m) Moyen
01	12050	01 jour	500	450	50	0.100	0.066
02	12135	01 jour	500	457	43	0.086	
03	12160	01 jour	500	494	6	0.012	
01	12035	02 jours	500	449	51	0.104	0.068
02	12110	02 jours	500	456	44	0.088	
03	12120	02 jours	500	494	6	0.012	
01	12000	03 jours	500	447	53	0.106	0.070
02	12050	03 jours	500	455	45	0.090	
03	12040	03 jours	500	493	7	0.014	
01	11855	07 jours	500	446	54	0.108	0.071
02	11965	07 jours	500	454	46	0.092	
03	11945	07 jours	500	493	7	0.014	
01	11800	14 jours	500	443	57	0.114	0.077
02	11900	14 jours	500	451	49	0.098	
03	11895	14 jours	500	490	10	0.020	
01	11780	21 jours	500	442	58	0.116	0.077
02	11880	21 jours	500	450	50	0.100	
03	11875	21 jours	500	492	8	0.016	
01	11765	28 jours	500	438	62	0.124	0.085
02	11860	28 jours	500	448	52	0.104	
03	11860	28 jours	500	486	14	0.028	
01	11750	30 jours	500	435	65	0.130	0.094
02	11850	30 jours	500	442	58	0.116	
03	11850	30 jours	500	481	19	0.038	
01	11745	45 jours	500	434	66	0.132	0.100
02	11850	45 jours	500	435	65	0.130	
03	11845	45 jours	500	480	20	0.040	
01	11730	60 jours	500	427	73	0.146	0.108
02	11825	60 jours	500	435	65	0.130	
03	11825	60 jours	500	476	24	0.048	
01	11720	90 jours	500	425	75	0.150	0.113
02	11815	90 jours	500	432	68	0.136	
03	11815	90 jours	500	474	26	0.052	
01	11715	120 jours	500	424	77	0.153	0.115
02	11810	120 jours	500	432	69	0.137	
03	11810	120 jours	500	473	28	0.055	
01	11705	150 jours	500	426	75	0.149	0.112
02	11810	150 jours	500	433	68	0.135	
03	11805	150 jours	500	474	26	0.052	
01	11705	180 jours	500	425	76	0.151	0.114
02	11805	180 jours	500	432	69	0.137	
03	11800	180 jours	500	473	27	0.054	

Evaluation de la masse moyenne sur les prismes des bétons en fonction du temps

Age (jours)	Masse en (grs)			
	BO1	BO2	BO3	BO4
1	12115	12205	12125	12115
2	11054	12154	12048	12088
3	11993	12110	12013	12030
7	11956	11991	11910	11921
14	11900	11973	11868	11865
21	11876	11960	11865	11845
28	11866	11945	11856	11828
30	11858	11938	11851	11816
45	11846	11931	11833	11813
60	11831	11930	11818	11793
90	11803	11908	11813	11783
120	11792	11901	11798	11778
150	11775	11881	11791	11773
180	11740	11878	11786	11770

Résumé

Dans la composition granulaire des bétons, la quantité et la qualité des éléments fins jouent un rôle important sur ses caractéristiques à l'état frais et à l'état durci.

L'objectif de ce présent travail est l'examen de l'effet de ces particules fines contenues dans le sable sur la résistance à la compression et le retrait d'un béton ordinaire, dans ce contexte et devant la difficulté de choix d'un bon sable à béton, une étude expérimentale porte sur deux sables de provenance et de nature différentes à savoir le sable de concassage qu'est riche en éléments fins et le sable de oued pauvre en éléments fins.

Les deux sables ont été reconstitués afin obtenir une granulométrie recommandée ($M_f=2,8$) pour formuler un béton à caractère normalisé, plusieurs mélanges de béton ont été confectionnés avec un dosage ($C=375 \text{ Kg/m}^3$) et un rapport ($E/C=0,54$). Des séries d'éprouvettes cylindrique et prismatiques, qui feront l'objet de suivre l'évolution de la résistance à la compression et le retraits de béton.

On termine par l'interprétation des résultats obtenus par apport aux caractéristiques souhaitées et mettre une comparaison entre les deux sable, pour en conclure que le sable de concassage donne des résultats meilleurs.

Mots clés : Béton, sables, fines, résistances à la compression, retrait,...etc.

Abstract

In the granular composition of concrete, the quantity and quality of fine elements are important characteristics of fresh and hardened state.

The objective of the present work is the examination of the effect of these fine particles contained in the sand on the compressive strength and the shrinkage of a ordinary concrete, in this context and given the difficulty of choosing a good concrete sand, an experimental study focuses on two sands of different origin and nature, namely the crushed sand which is rich in fine elements and sand of river that is low in fine elements.

The two sands were reconstructed to obtain a recommended size (fineness modulus = 2.8) to formulate a concrete character standardized, several concrete mixtures were made with a cement content ($C=375 \text{ kg/m}^3$) and a ratio ($W / C = 0.54$). Series of cylindrical and prismatic specimens, which will be to follow the evolution of the compressive strength and shrinkage of concrete.

We end with the interpretation of the results obtained to input the desired characteristics and to compare the two sands, to conclude that the crushed sand gives better results.

Keywords: Concrete, sands, fine, compressive strength, shrinkage.

ملخص

في تكوين حبيبات الخرسانة، كمية و نوعية العناصر الدقيقة تلعب دور هام في حالتها الطبيعية و الصلبة.

الهدف من هذا العمل هو دراسة تأثير هذه الحبيبات الدقيقة الواردة في الرمل، على القوة الضاغطة و تقلص الخرسانة العادية، في هذه السياق و في صعوبة اختيار رمل جيد للخرسانة، دراسة تجريبية تركز على نوعين من الرمل مختلفة المنشأ و الطبيعة و هما: الرمل المسحوق (مقلع) الغني بالحبيبات الدقيقة و رمل النهر الفقير من الحبيبات الدقيقة.

إن هذين النوعين من الرمال قد تم اعادة تكوينهما للحصول على حجم معين للحبيبات (معامل الرقة = 2.8) و هذا لتكوين خرسانة ذات خاصية معيارية.

مخالط من الخرسانة قد انجزت بجرعة من الإسمنت تقدر ب 375 كلغ/م³ و بنسبة الماء/الإسمنت = 0.54 ، سلسلة من نماذج اختبارية اسطوانية و منشورية الشكل، بهدف مراقبة تطور القوة الضاغطة و تقلص الخرسانة العادية.

نهي بتفسير النتائج المحصلة بغض النظر عن الخصائص المنشودة، و إجراء مقارنة بين الرملين و إستنتاج أن الرمل المسحوق يعطي نتائج أفضل.