

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

BADJI MOKHTAR UNIVERSITY- ANNABA

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIORAT

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

Année 2019

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master en Génie Civil

Thème :

**Caractérisation des bétons ordinaires utilisés dans les chantiers
de la ville d'Annaba : influence de la nature des sables utilisés**

Domaine : Sciences et Technique

Spécialité :

GENIE CIVIL

Option :

MATERIAUX DE CONSTRUCTION

Par :

1/ DAMECHE Ouafa

2/ BEKKOUCHE Zahra

Directeur du mémoire : BELOUETTAR Redjem Professeur Université Badji Mokhtar - Annaba

Devant le Jury :

Président : REDJEL Bachir Professeur Université Badji Mokhtar - Annaba

Examinatrice : BOUMAAZA Fatiha MCB Université Badji Mokhtar - Annaba

Remerciements

Au terme de notre travail, nous tenons à remercier.

Notre DIEU Miséricordieux qui nous a donné la force, la volonté et la patience pour achever ce mémoire.

Nos familles particulièrement nos parents pour leur sacrifices, aides, encouragements et soutiens.

Pr. BELOUETTAR Redjem, notre directeur du mémoire, pour son aide, sa patience, ses encouragements sans cesse et pour la confiance qu'il nous a accordée.

Pr. Redjel Bachir et Dr. Boumaaza Fatiha d'avoir accepté de présider le jury et d'examiner ce mémoire qu'ils trouvent ici le témoignage de notre gratitude et notre reconnaissance

Dr. BENZERARA Mohammed, notre co-directeur du mémoire, pour son aide et soutien.

Monsieur le chef de département, ainsi que les professeurs qui nous ont enseigné durant notre cycle de formation, pour tout savoir acquit.

Messieurs les ingénieurs et les techniciens du laboratoire de Génie Civil de l'université BADJI Mokhtar - Annaba, pour leurs aides, assistance et sympathie durant notre travail expérimental.

Tout le personnel du département de génie civil pour leur soutien.

Nos amis, camarades, collègues pour leurs aides et soutiens.

Toute personne qui a aidé de près ou de loin pour l'achèvement de ce travail.

ملخص

في الجزائر ، أدى الاستخدام المكثف للركام في صناعة الخرسانة لبناء المباني والأشغال العامة إلى نضوب سريع لهذه المواد مما دفع هذا الموقف شركات البناء إلى استخدام فوضوي وجاهل للخصائص الفيزيائية والميكانيكية لها.

الهدف من هذه الدراسة ، وفقاً للترتيب التجريبي ، هو وصف المجاميع (الرمال) الأكثر استخداماً في منطقة عنابة ، والتي يمكن تحملها لتصنيع خواص ميكانيكية ذات خصائص ميكانيكية مقبولة وذات استخدام حالي. ويتم ذلك من خلال سلسلة من الاختبارات على الرمال من أصل مختلف (عنابة ، تبسة ، سكيكدة).

بعد توصيف هذه الركام ، يتم الحصول على أربعة خرسانة ، بدورها ، ستخضع لاختبارات الانضغاط والجر عن طريق الثني والجر عن طريق الانقسام لتحديد تأثير الركام على القوة الميكانيكية للخرسانة.

تميل النتائج التي تم الحصول عليها إلى إثبات وجود علاقة مباشرة بين الخصائص الفيزيائية الميكانيكية للركام والقوة الميكانيكية للخرسانة.

Résumé

En Algérie, l'exploitation intensive des granulats dans la fabrication du béton destiné à la construction des bâtiments et des travaux publics a conduit à un épuisement rapide de ces matériaux. Cette situation a poussé les entreprises de construction à une utilisation anarchique et ignorante des caractéristiques physico-mécaniques de ces matériaux.

L'objectif de cette étude, d'ordre expérimental, est de caractériser les granulats (sables) les plus utilisés dans la région d'Annaba, et pouvant être tolérés pour la fabrication des bétons de caractéristiques mécaniques acceptables et d'usage courant. Elle est réalisée à travers une série d'essais sur des sables de provenance différente (Annaba, Tébessa, Skikda).

Après la caractérisation de ces granulats, quatre bétons sont obtenus, à leurs tours, ils subiront des essais de compression, de traction par flexion et de traction par fendage afin de déterminer l'influence des granulats sur la résistance mécanique du béton.

Les résultats obtenus tendent à prouver qu'il existe une relation directe entre les caractéristiques physico-mécaniques des granulats et la résistance mécanique du béton.

Abstract

In Algeria, the intensive use of aggregates in the manufacture of concrete for the construction of buildings and public works has led to a rapid depletion of these materials. This situation has pushed construction companies to an anarchic and ignorant use of the physico-mechanical characteristics of these materials.

The objective of this study, of experimental order, is to characterize the aggregates (sands) most used in the region of Annaba, and which can be tolerated for the manufacture of concretes of mechanical characteristics acceptable and of current use. It is carried out through a series of tests on sands of different origin (Annaba, Tebessa, Skikda).

After the characterization of these aggregates, four concretes are obtained, in their turn, they will undergo tests of compression, traction by bending and traction by splitting to determine the influence of the aggregates on the mechanical strength of the concrete.

The results obtained tend to prove that there is a direct relation between the physico-mechanical characteristics of aggregates and the mechanical strength of concrete

Sommaire

Sommaire

ملخص.....	1
Résumé.....	1
Abstract.....	2
Sommaire	3
Liste des tableaux.....	8
Liste des figures	9
Introduction générale	11

CHAPITRE I: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. Introduction	13
I. 2. Généralités sur le béton	13
1.2.1. Le béton dans l’Histoire.....	13
1.2.2. Du béton aux bétons multiples.....	13
I.3. Caractéristiques physico-mécaniques d’un béton courant.....	14
I.3.1. Les caractéristiques physiques.....	14
I.3.1.1 L’ouvrabilité	14
I.3.1.2 Retrait	14
I.3.2. Caractéristiques mécaniques.....	14
I.3.2.1. La Résistance à la compression	15
I.3.2.2. La résistance à la flexion	15
I.3.2.3. La résistance à la traction	15
I.4. Différents constituants du béton	15
I.4.1. Le ciment	15
I.4.2. Les granulats.....	15

Sommaire

I.4.2.1. Définition des granulats.....	15
I.4.2.2. Caractéristiques des granulats	18
I.4.2.3. Différents types de granulats	19
I.4.2.3.1. Granulats naturels	19
I.4.2.3.2. Granulats artificiels.....	20
I.4.2.3.3. Granulats recyclés.....	21
I.4.3. Le sable.....	21
I.4.3.1. Caractéristiques physicochimiques.....	21
I.4.3.2. Utilisation et économie.....	22
I.4.3.2.1. Utilisation	22
I.4.3.2.2. Économie	23
I.4.3.3. Différents types de sables	23
I.4.3.3.1. Sables naturels	24
I.4.3.3.2. Sables artificiels.....	24
I.4.3.4. Qualités requises pour un sable naturel ou artificiel.....	24
I.4.3.5. Utilisation des sables naturels et artificiels.....	24
I.4.3.6. Les différentes classes de sable	25
I.4.3.7. Influence de l'origine du sable et la taille de ses grains sur les propriétés des bétons	25
I.4.3.7.1. Influence du sable sur l'ouvrabilité du béton	25
I.5. Conclusion	27
II.1. Introduction	28

CHAPITRE II: CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISES

II .2. Présentation des matériaux.....	28
II .2.1. Les sables	28
II .2.1.1. Sable de mer (S1)	28

Sommaire

II .2.1.2. Sable de «Lalla Meriem» (S2)	29
II.2.1.3. Sable d'El-Kouif (S3).....	29
II.2.1.4. Sable d'Azzaba.....	29
II .2.2. Les graviers	30
II.2.3. Le ciment.....	30
II.2.4. Eau de gâchage.....	31
II.3. Essais de caractérisation et résultats.....	31
II.3.1. Essais de caractérisation.....	31
II.3.1.1. Analyse granulométrique	31
II.3.1.2. Module de finesse.....	31
II.3.1.3. L'essai d'équivalent de sable (mesure de la propreté)	32
II.3.1.4. La masse volumique apparente	32
II.3.1.5. La masse volumique absolue.....	33
II.3.1.6. La finesse de mouture de ciment.....	33
II.3.1.7. Consistance normale	33
II.3.1.8. La porosité.....	33
II.3.1.9. Taux d'absorption d'eau.....	34
II.3.1.10. Essais los-Angeles [NFP 18-573]	34
II.3.1.11. Essai Micro Deval[EN 1097-1].....	35
II.3.2. Résultats obtenus.....	36
II.3.2.1. Analyse granulométrique	36
II.3.2.2. Caractéristiques des sables utilisés.....	39
II.3.2.3. Caractéristiques des deux fractions de gravier utilisé	41
II.3.2.4. Caractéristiques du ciment utilisé	42
II. 4. Conclusion.....	43

Sommaire

CHAPITRE III: FORMULATION DES BETONS & METHODES EXPERIMENTALES

III.1. Introduction.....	44
III.2. Formulation.....	44
III.2.1. Méthode de formulation.....	45
III.2.2. Résultats des formulations	49
III.3. Procédure expérimentale.....	51
III.3.1. Préparation des constituants du béton et moules d'éprouvettes [NF EN12390-1]	51
III.3.2. Procédure de malaxage [EN 480-1].....	52
III.3.3 L'essai de maniabilité au cône d'Abrams [NF P 18-451].....	53
III.3.4 Calcul de la densité du béton préparé	53
III.3.4.1 A l'état frais [NF EN 12350-6]	53
III.3.4.2 A l'état durci [NF EN 12390-7].....	54
III.3.5 Confection des éprouvettes [NF P18 404]	54
III.3.5.1 Vibration [NF P18 421]	55
III.3.6 Conservation des éprouvettes	55
III.3.7 Caractérisation mécanique des différentes compositions	56
III.3.7.1 Essai de la résistance à la compression [NF EN 12390-3]	56
III.3.7.2 Essai de la résistance à la traction par flexion [NF EN 12390-5].....	57
III.3.7.3 Essai de la résistance à la traction par fendage [NF EN 12390-6].....	58
III.4. Conclusion	58

CHAPITRE IV: RESULTATS & DISCUSSIONS

IV.1. Introduction.....	59
IV.2. Rhéologie des bétons frais	59
IV.2.1. Affaissement au cône.....	59

Sommaire

IV.2.2. Masse volumique des bétons à l'état frais et durci	60
IV.2.3. Caractérisations mécaniques des différentes compositions	61
IV.2.4. Comparaison des résistances obtenues à 28 jours	64
IV.2.4.1. Résistances en compression.....	64
IV.2.4.2 Résistances en traction par flexion	64
IV.2.4.3 Résistances en traction par fendage	65
IV.4. Discussion des résultats	66
IV.5. Conclusion	67
CONCLUSION GENERALE	68
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	69

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Familles des granulats	17
Tableau II.1: Composition granulométrique du sable S1	36
Tableau II.2: Composition granulométrique du sable S2	36
Tableau II.3: Composition granulométrique du sable S3	37
Tableau II.4: Composition granulométrique du sable S4	37
Tableau II.5: Composition granulométrique du gravier G1.....	38
Tableau II.6: Composition granulométrique du gravier G2.....	38
Tableau II.7: Propriétés physiques des sables utilisés	39
Tableau II.8: Propriétés physiques des graviers utilisés	41
Tableau II.9: Compositions chimique du ciment	42
Tableau II.10 : Compositions du clinker.....	42
Tableau II.11 : Caractéristiques physiques et mécaniques du ciment	42
Tableau III.1 : Valeur du terme correcteur K en fonction du dosage en ciment, de la puissance de la vibration et de l'angularité des granulats.....	46
Tableau III.2 : Valeur du coefficient de compacité γ	48
Tableau III.3 : Résultats de formulation des B.O 1, B.O 2, B.O 3, B.O 4.....	51
Tableau IV.1 : Résultats d'affaissements au cône d'Abrams.	59
Tableau IV.2 : Résultats des masses volumique à l'état frais et durci.....	60
Tableau IV.4 : Résultats d'écrasement du B.O 1.....	61
Tableau IV.5 : Résultats d'écrasement du B.O 2.....	61
Tableau IV.6 : Résultats d'écrasement du B.O 3.....	61
Tableau IV.7: Résultats d'écrasement du B.O 4.....	62
Tableau IV.8 : Résultats d'absorption d'eau des bétons.....	65

Liste des figures

Liste des figures

Figure II.2 : Sable de «LallaMerien».....	29
Figure II.3 : Sable de «El-Kouif».....	29
Figure II.5 : Gravier G1 et G2.....	30
Figure II.6 : Sacs de ciments de la cimenterie HadjarEssoud.....	30
Figure II.7 : Analyse granulométrique du sable.....	31
Figure II.8: Essai de l'équivalent de sable.....	32
Figure II.9: Essai de la masse volumique apparente.....	32
Figure II.10 : Essai de la masse volumique absolue.....	33
Figure II.11 : Essai Los Angeles.....	35
Figure II.12 : Essai Micro Deval.....	35
Figure II.13: Composition granulométrique des sables et graviers utilisés.....	39
Figure II.14 : Les modules de finesse des sables utilisés.....	40
Figure II.15 : Les masses volumiques apparentes et absolues des sables utilisés.....	40
Figure II.16: Les masses volumiques apparentes et absolues des graviers utilisés.....	41
Figure III.1 : Abaque pour l'estimation de la quantité de ciment.....	45
Figure III.2 : Utilisation de la courbe granulaire de référence.....	47
Figure III.3: Courbe granulaire de référence du B.O 1.....	49
Figure III.5: Courbe granulaire de référence du B.O 3.....	50
Figure III.6: Courbe granulaire de référence du B.O 4.....	50
Figure III.7: Différents constituants du béton.....	52
Figure III.8: Malaxage des constituants.....	52
Figure III.9: Essai du cône d'Abrams.....	53
Figure III.10: Calcul de ρ à l'état frais.....	53
Figure III.11: Calcul de ρ à l'état durci.....	54
Figure III.12: Table vibrante.....	54
Figure III.13:Table vibrante.....	55

Liste des figures

Figure IV.1 : Affaissement au cône d'Abrams.	59
Figure IV.2 : Masse volumique à l'état frais et durci.	60
Figure IV.3 : Résultats des résistances à 7 jours.....	62
Figure IV.4 : Résultats des résistances à 14 jours.....	63
Figure IV.5 : Résultats des résistances à 28 jours.....	63
Figure IV.6 : comparaison des résistances de compression à 28 jours.....	64
Figure IV.7 : comparaison des résistances en traction par flexion à 28 jours.	64
Figure IV.8 : comparaison des résistances en traction par fendage à 28 jours.	65

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Introduction générale

Les années 1980 ont marqué une étape importante dans l'évolution du domaine du génie civil ou plutôt l'évolution du béton.

Le béton est un matériau universellement utilisé, résistant, il s'adapte en souplesse aux conditions les plus variées, facile à réaliser et simple d'emploi, il est extrêmement polyvalent.

Après l'eau c'est le produit le plus consommé sur notre planète.

Ce dernier a fait l'objet d'intenses recherches ainsi que sur ses composants dont les principaux sont (le ciment, l'eau et les granulats).

Ces composants représentent environ 90% de tous les ouvrages de génie civil et 75% en masse du béton. Cette information nous donne une idée sur les besoins en granulats des chantiers de construction en Algérie, ce qui est énorme.

Problématique

La grande majorité des entreprises de construction et de réalisation et plus particulièrement les entreprises privées, ignorent les caractéristiques physico-mécaniques du sable utilisé pour la confection du béton.

Ce travail étudie et analyse les caractéristiques physico-mécaniques des sables utilisés dans notre région (Annaba), et leurs effets sur le comportement du béton frais et durci.

But et plan du travail

L'objectif principal de notre présente étude est la contribution à la valorisation des produits bruts qui interviennent dans la confection du béton de structure.

Il est question d'étudier expérimentalement le comportement du béton à base de différents types de sable, les plus utilisés dans la région d'Annaba.

Après investigation sur le terrain on a su que les sables utilisés proviennent de la wilaya de Tébessa.

Afin de déterminer le meilleur sable qui donne un bon béton on propose d'étudier les caractéristiques physiques et l'influence du sable sur la résistance mécanique à la compression et à la traction par flexion et par fendage. Ces essais seront réalisés sur des éprouvettes conservées dans l'eau.

Introduction générale

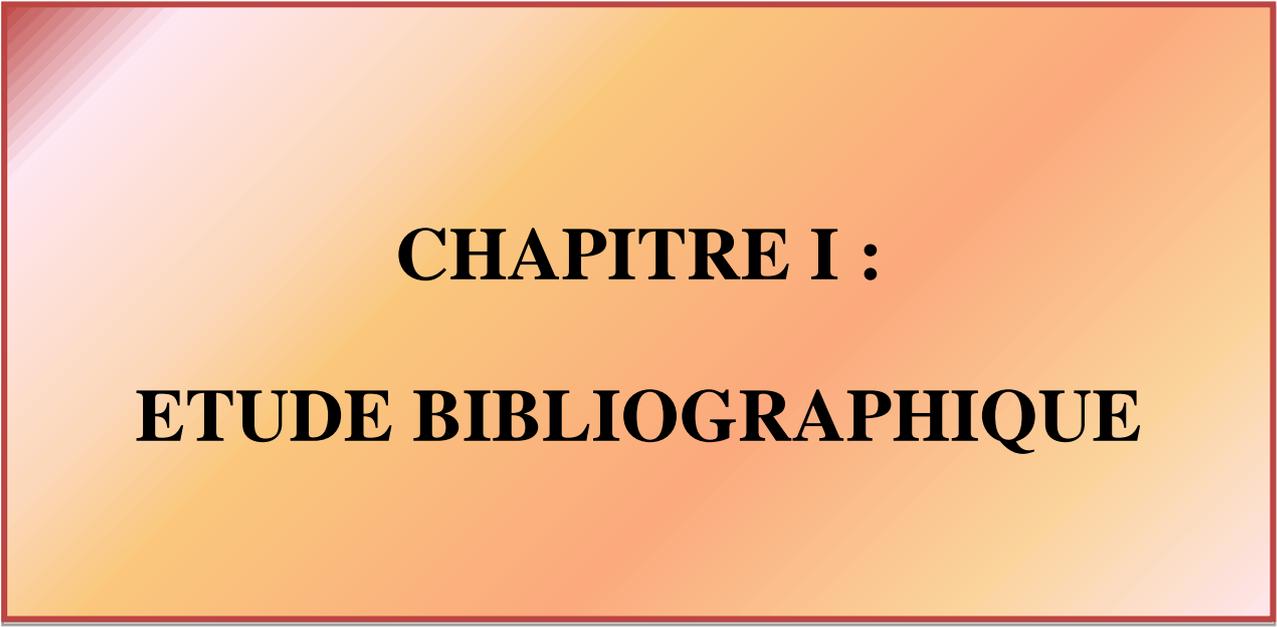
Après une introduction générale sur la problématique des granulats en Algérie une revue bibliographique sur ces derniers est présenté dans le premier chapitre.

Le deuxième chapitre est consacré à une étude de caractérisation des matériaux utilisés dans notre projet.

Le troisième chapitre sera consacré aux méthodes de formulation, les méthodes empiriques ou semi empiriques sont généralement les plus utilisées aussi bien par les laboratoires d'analyses que par les laboratoires de recherche.

Le quatrième chapitre concernera le traitement des résultats des essais utilisés et de leurs discussions.

Enfin, une conclusion générale relative à ces travaux sera établie et des recommandations pour des travaux futurs éventuels seront proposées.



CHAPITRE I :
ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : Etude Bibliographique

I.1. Introduction

Ce chapitre est relatif à une synthèse bibliographique à savoir la connaissance, en premier lieu, des bétons ordinaires et leurs constituants, ensuite de l'influence de différents types de sable sur ces bétons.

I. 2. Généralités sur le béton

1.2.1. Le béton dans l'Histoire

Si l'on s'en tient à la définition du béton, mélange d'un liant et de granulats, son usage remonte à la haute Antiquité (3 000 à 700 avant J.-C.), avec les mélanges à base d'argile en Mésopotamie notamment. Mais ce matériau se dégradant rapidement, peu de vestiges attestent son utilisation. Le « véritable » béton, au sens où nous l'entendons aujourd'hui, c'est-à-dire un mélange de ciment et de granulats, est utilisé dès l'époque romaine : les nombreux bâtiments de la Rome antique encore visibles témoignent de la résistance de leurs constructions.

Au XIXe siècle, grâce à l'industrialisation de la fabrication du ciment, de nombreuses avancées successives assurent le succès du béton. Un jardinier créatif, Joseph Monier (1823-1906) dépose, entre 1867 et 1891, plusieurs brevets décrivant un système de construction à base de fer et de ciment, destiné à fabriquer des jardinières, tuyaux et réservoirs à eau. Il est l'inventeur du « ciment armé ».

François Coignet (1841-1888) imagine alors en 1852 le béton armé et construit le tout premier immeuble en béton coulé avec fers profilés enrobés, à Saint-Denis, en région parisienne.

Les brevets se succèdent. En 1867, un immeuble en béton aggloméré est breveté à Paris par François Hennebique (1842-1921). Celui-ci imagine ensuite la première dalle en béton de ciment armé de fers ronds (1880), les poutres creuses en béton armé (1892), le pilote en béton armé à ligatures rapprochées (1896)

1.2.2. Du béton aux bétons multiples

La composition du béton est fixée en 1906 par un règlement, selon lequel 1 m³ de béton ordinaire est fabriqué à partir de 350 kg de ciment, 590 kg de sable, 1 180 kg de gravier, et 210 litres d'eau.

CHAPITRE I : Etude Bibliographique

Mais les déclinaisons et applications du béton se multiplient au XXe siècle : béton à poudres réactives, plus résistant, béton précontraint, contenant des câbles d'acier en tension, béton allégé, grâce à des billes de polystyrène...

Enfin, apparaissent à la fin des années 1980 les bétons hautes performances (BHP), puis les bétons autoplaçants et les bétons fibrés à ultra hautes performances. La famille des bétons ne cesse de s'agrandir.

I.3. Caractéristiques physico-mécaniques d'un béton courant

I.3.1. Les caractéristiques physiques

Les bétons courants présentent diverses propriétés physiques. Ces propriétés physiques se résument à :

I.3.1.1 L'ouvrabilité

L'ouvrabilité d'un béton est un facteur important. Elle peut se définir comme la facilité offerte

à la mise en œuvre du béton pour le remplissage parfait du coffrage et du ferrailage. Elle est caractérisée par la valeur de l'affaissement au cône d'Abrams.

I.3.1.2 Retrait

Le retrait est un phénomène simple qui correspond à une contraction volumétrique que l'on observe quand du béton desséché.

Le retrait peut être défini également, comme un ensemble de variations dimensionnelles intimement liées au départ d'eau vers l'extérieur ou à la consommation d'eau par hydratation. Ces variations sont indépendantes de tout chargement ou de toute sollicitation. Elles sont dues à des phénomènes chimiques (hydratation) et physiques (départ d'eau vers l'extérieur, pression capillaire). En d'autres termes, le retrait est une variation dimensionnelle, fonction du temps et de la variation d'eau dans le matériau cimentaire, sans chargement extérieur de ce dernier.

I.3.2. Caractéristiques mécaniques

Les caractéristiques mécaniques d'un béton courant, ne sont pas très variées.

Il en existe trois :

CHAPITRE I : Etude Bibliographique

I.3.2.1. La Résistance à la compression

C'est la propriété, qui en général, est considérée comme la plus importante des propriétés du béton. Cette résistance, projette une image globale de la qualité d'un béton. Elle définit la force maximale de compression à laquelle le béton peut résister. La résistance d'un béton courant est en grande partie, liée à l'homogénéité de son squelette granulaire.

I.3.2.2. La résistance à la flexion

La flexion est une déformation au cours de laquelle l'axe des barres rectilignes fléchit ou alors la courbure des barres curvilignes change après déformation. Dans le cas présent, la flexion c'est l'état du béton qui est fléchi, sous l'effet de la force normale à sa section. Lorsque le béton fléchi, il oppose une résistance à la force de flexion. Cette résistance qu'il oppose est sa résistance à la flexion.

I.3.2.3. La résistance à la traction

La résistance à la traction désigne la résistance d'une surface contre une force de traction qui s'exerce verticalement à la surface. C'est une force qu'oppose le béton contre une sollicitation de type allongement.

I.4. Différents constituants du béton

I.4.1. Le ciment

Produit en cimenterie, le ciment est une poudre minérale, un liant hydraulique comme la chaux, qui forme une pâte, fait prise et durcit lorsqu'il est mis au contact de l'eau. Le ciment est un constituant important du béton - entre 7 et 15 % du mélange - auquel il confère un certain nombre de propriétés, notamment sa résistance.

I.4.2. Les granulats

I.4.2.1. Définition des granulats

Un granulat est constitué d'un ensemble de grains minéraux, qui selon sa dimension (comprise entre 0 et 125 mm) se situe dans l'une des 6 familles suivantes :

- Fillers
- Sablons
- Sables

CHAPITRE I : Etude Bibliographique

- Graves
- Gravillon
- Ballast

Les granulats sont utilisés pour la réalisation d'ouvrages de Génie Civil, de travaux routiers et de bâtiments.

Ils sont obtenus :

- En exploitant des gisements de sables et de graviers d'origine alluvionnaire, terrestre ou marine ;
- En concassant des roches massives
- Ou encore par recyclage de produits tels que les bétons de démolition.

Leurs natures, leurs formes et leurs caractéristiques varient en fonction des gisements et des techniques de production.

La nature minérale des granulats est un critère fondamental pour son emploi, chaque roche possédant des caractéristiques intrinsèques spécifiques en termes de résistance mécanique et de tenue au gel, ainsi que des propriétés physico-chimiques et des propriétés chimiques.

Les granulats sont classés en fonction de leur granularité (distribution dimensionnelle des grains) déterminée par analyse granulométrique à l'aide de tamis.

Un granulat est désigné par sa classe granulaire exprimée par le couple d/D ou $0/D$ avec :

d : dimension inférieure du granulat

D : dimension supérieure du granulat.

CHAPITRE I : Etude Bibliographique

Tableau I.1 : Familles des granulats

Familles	Dimensions	Caractéristiques
Fillers	0/D	$D < 2$ mm avec au moins 85 % de passant à 1,25mm et 70 % de passant à 0,063 mm
Sablons	0/D	$D \leq 1$ mm avec moins de 10 % de passant à 0,063 mm
Sables	0/D	$0 \text{ mm} < D \leq 4$ mm
Graves	0/D	$D < 6.3$ mm
Gravillons	d/D	$d \geq 2$ mm et $D \leq 63$ mm
Ballasts	d/D	$d \geq 31,5$ mm et $D = 50$ ou 63 mm

Les granulats sont utilisés :

- Directement sans liant: ballast de voies ferrées, remblais, couches de forme des structures routières ;
- Solidarisés avec un liant : le ciment pour le béton et les mortiers, le bitume pour les enrobés.

Il est possible aussi de réaliser des mélanges de granulats pour obtenir des distributions granulaires adaptées à chaque utilisation.

Les granulats sont considérés comme courant lorsque leur masse volumique est supérieure à 2 t/m³ et léger si elle est inférieure à 2 t/m³, on distingue alors deux classes de granulats :

❖ Granulats légers

Les granulats légers usuels sont la ponce (lave volcanique de couleur gris clair rendue très légère par les nombreuses bulles de gaz emprisonnées lors du refroidissement), la pouzzolane (roche d'origine volcanique à structure alvéolaire de couleur brun-noir à rouge brique), l'argile ou le schiste expansés et le laitier expansé.

CHAPITRE I : Etude Bibliographique

D'une masse volumique variable entre 400 et 800 kg/m³, ils permettent de formuler des bétons présentant une bonne isolation thermique et une faible masse volumique comprise entre 1200 et 2000 kg/m³.

Remarque :

On utilise aussi des composants légers qui sont d'origine aussi bien végétale et organique que minérale (bois, polystyrène expansé, liège, vermiculite). Ils sont particulièrement adaptés pour les bétons d'isolation, mais également pour la réalisation d'éléments légers : blocs coffrant, blocs de remplissage, dalles, ou rechargements sur planchers peu résistants.

❖ Granulats lourds

Ces granulats se caractérisent par leur densité élevée.

- La barytine : matière opaque plus ou moins blanche à structure lamellaire. Sa densité moyenne est de 4,5.
- La magnétite : oxyde de fer dont la densité varie de 4 à 5.
- La limonite de densité 3,7.
- La pyrite de fer de densité 5.
- Les déchets ferreux dont la densité varie de 7,4 à 7,7.
- L'ilménite (densité 5) – la galène (densité 7,6) – le corindon (densité 4) – la serpentine – la pandermite – la colemanite – etc...

Les granulats lourds sont utilisés essentiellement pour la fabrication de bétons lourds.

I.4.2.2. Caractéristiques des granulats

Les granulats doivent répondre à des exigences et des critères de qualité et de régularité qui dépendent, d'une part, de la nature de la roche (résistance aux chocs et à l'usure, caractéristiques physico-chimiques...) et, d'autre part, de caractéristiques physiques liées au processus d'élaboration des granulats (dimensions, formes, propreté...).

Les granulats sont donc spécifiés par deux types de caractéristiques : Caractéristiques intrinsèques, liées à la nature minéralogique de la roche et à la qualité du gisement, telles que, par exemple :

CHAPITRE I : Etude Bibliographique

- La masse volumique réelle.
- L'absorption d'eau et la porosité.
- La sensibilité au gel.
- La résistance à la fragmentation et au polissage.
- La gélivité.

Caractéristiques de fabrication, liées aux procédés d'exploitation et de production des granulats telles que, en particulier :

- La granularité.
- La forme (aplatissement).
- La propreté des sables.

Les caractéristiques des granulats sont en fonction de leur famille (gravillons, sables, sablons, fillers) et font l'objet de méthode d'essais et de détermination adaptée.

I.4.2.3. Différents types de granulats

Un granulat, en fonction de sa nature et de son origine, peut-être : Naturel, artificiel et recyclé.

I.4.2.3.1. Granulats naturels

Les granulats naturels sont d'origine minérale, n'ayant subi aucune transformation autre que mécanique (tels que concassage, broyage, criblage, lavage), issus de diverses roches :

- ❖ Roches magmatiques ou éruptives : elles proviennent du refroidissement d'un magma préalablement fondu. Parmi les roches éruptives, on distingue :
 - ❖ Les roches volcaniques qui naissent par solidification de coulées de lave : basaltes, andésites, rhyolites ;
 - ❖ Les roches plutoniques : granites, diorites, syénites, gabbros...
- ❖ Roches sédimentaires : elles se forment à la surface de la terre par accumulation de sédiments. Elles résultent de l'érosion des roches éruptives ou des dépôts de sédiments marins. On les rencontre souvent sous la forme de roches meubles telles que les alluvions siliceuses, silico-calcaires ou calcaires. On distingue les roches sédimentaires :

CHAPITRE I : Etude Bibliographique

- ❖ Silicatées : grès, grès quartzites, silex, chailles, sédiments glaciaires...
- ❖ Carbonatées : calcaires, dolomies...
- ❖ Roches métamorphiques : Elles se sont produites suite à des phénomènes tectoniques. Elles proviennent de la transformation des roches éruptives ou sédimentaires, sous l'action de la température, de la pression ou de l'apport de substances chimiques : quartzites, gneiss, schistes, micaschistes, marbres... Elles affleurent plus particulièrement dans les massifs montagneux anciens.

Remarque : Parmi les granulats naturels, les plus utilisés pour le béton proviennent de roches sédimentaires siliceuses ou calcaires, de roches métamorphiques telles que les quartz et quartzites ou de roches éruptives telles que les basaltes, les granites et les porphyres.

➤ **Catégories de granulats naturels**

On classe les granulats naturels en deux catégories :

- ❖ Les granulats alluvionnaires ou de roches meubles, dits roulés, dont la forme arrondie a été acquise par l'érosion.

Ces granulats sont lavés pour éliminer les particules argileuses (nuisibles à la résistance du béton) et criblés pour obtenir différentes classes granulaires. Ils sont exploités dans les cours d'eau ou à proximité ou sur des fonds marins peu profonds. L'extraction est réalisée donc en fonction du gisement, de la hauteur du cours d'eau ou de la nappe phréatique à sec ou dans l'eau.

- ❖ Les granulats de roches massives sont obtenus par abattage et concassage, ce qui leur donne des formes angulaires. Une phase de pré criblage est indispensable à l'obtention de granulats propres. Différentes phases de concassage aboutissent à l'obtention des classes granulaires souhaitées. Les granulats concassés présentent des caractéristiques qui dépendent d'un grand nombre de paramètres : origine de la roche, régularité du banc, degré de concassage.

I.4.2.3.2. Granulats artificiels

Les granulats artificiels sont d'origine minérale résultant d'un procédé industriel comprenant par exemple des transformations thermiques :

CHAPITRE I : Etude Bibliographique

❖ Sous-produits industriels, concassés ou non:

Les plus employés sont le laitier cristallisé concassé et le laitier granulé de haut fourneau obtenus par refroidissement à l'eau.

Remarque : le laitier est un coproduit de la fusion en haut fourneau du minerai de fer.

❖ Granulats à hautes caractéristiques élaborés industriellement :

Il s'agit de granulats élaborés spécialement pour répondre à certains emplois, notamment des granulats très durs pour renforcer la résistance à l'usure de dallages industriels (granulats ferreux, ...) ou des granulats réfractaires.

I.4.2.3.3. Granulats recyclés

Les granulats recyclés sont obtenus par traitement d'une matière inorganique utilisée précédemment dans la construction, tels que des bétons de démolition de bâtiments ou des structures de chaussées.

I.4.3. Le sable

Le sable est un matériau granulaire constitué de petites particules provenant de la désagrégation de matériaux d'origine minérale (essentiellement des roches) ou organique (coquilles, squelettes de coraux...) dont la dimension est comprise entre 0,063 (limon) et 2 mm (gravier) selon la définition des matériaux granulaires en géologie. Sa composition peut révéler jusqu'à 180 minéraux différents (quartz, micas, feldspaths) ainsi que des débris calcaires.

I.4.3.1. Caractéristiques physicochimiques

Une particule individuelle est appelée grain de sable. Les sables sont identifiés grâce à la granulométrie (la grosseur des grains). Le sable se caractérise par sa capacité à s'écouler. Plus les grains sont ronds, plus le sable s'écoule facilement. Le sable artificiel, obtenu par découpage ou broyage mécanique de roches, est principalement composé de grains aux aspérités marquées. On peut également différencier un sable qui a été transporté par le vent d'un sable transporté par l'eau. Le premier est de forme plus ronde, sphérique, alors que le deuxième est plus ovoïde. De plus, le sable éolien présente une diaphanéité plus mate que le sable fluviatile ou marin qui est dit "émoussé-luisant". L'aspect de la surface du grain de sable éolien est dû aux multiples impacts que subit le sable lors de son déplacement.

CHAPITRE I : Etude Bibliographique

Le sable est souvent le produit de la décomposition des roches du fait de l'érosion. Les plus fréquents de ses composants sont le quartz, constituant le moins altérable du granite, ainsi que des micas et feldspaths.

Il peut avoir plusieurs couleurs en fonction de la nature des particules sableuses (minéraux) issues de la roche-mère :

- Noir (exemple : sable issu d'une roche volcanique);
- Blanc (exemple : White Sands, dunes de gypse pur ; sable coquillier enrichi de certains débris de coquillages ; sables riches en quartz usés et micas blancs);
- Grenat (exemple : plage de Groix constituée de grenats, minéraux riches et abondants dans la roche-mère de cette île);
- Rose (plages de la côte de granit rose).

L'extrême diversité vient des quelque 180 minéraux différents qui ont été découverts dans les sables sur les 4 900 espèces connues et décrites par les minéralogistes.

En fonction du type et de la quantité de pigments qui recouvrent les particules sableuses (oxyde de fer...), il prend une couleur jaunâtre, rouille.

Le sable peut aussi prendre d'autres formes : arène, grès.

Les grains de sable sont assez légers pour être transportés par le vent et l'eau. Ils s'accumulent alors pour former des plages, des dunes.

Les grains les plus lourds se déposent en premier dans les milieux à forte énergie (rivière, haut d'une plage), les plus fins dans les milieux à énergie plus faible (delta, lac, bassin, crique).

La masse volumique du sable sec varie, selon sa granulométrie et sa composition, de 1,7 à 1,9 kg/l (en moyenne 1 850 kg/m³).

I.4.3.2. Utilisation et économie

I.4.3.2.1. Utilisation

La taille, la nature et la forme plus ou moins arrondie de ses grains en font un matériau de qualité recherché pour la construction.

En maçonnerie, le sable est utilisé comme agrégat mélangé à un liant comme la chaux ou le ciment.

CHAPITRE I : Etude Bibliographique

En fonderie de métaux ferreux ou alliages légers, les moules peuvent être réalisés en sable aggloméré par des résines ou des argiles, pour couler les pièces.

En cuisine, il a été utilisé au XIXe siècle pour la conservation de la viande.

Il est utilisé comme matière première du verre.

Il peut être utilisé pour filtrer les liquides (dont l'eau de piscine, des eaux usées...), des gaz ou de l'air (filtre à sable filtrant les vapeurs d'un four à plomb, ou filtre à sable filtrant un air susceptible de contenir des radionucléides accidentellement émis dans l'air d'une installation nucléaire).

Du fait de sa facilité de manipulation, il est également employé lorsque l'on a besoin d'acheminer de la matière (peu importe sa nature) dans un endroit, par exemple pour servir de lest ou pour protéger (sac de sable contre les éclats d'explosion et les balles).

Il est utilisé comme abrasif dans des usines pour nettoyer des pièces métalliques : ce procédé est le sablage.

Le sable est également un élément important dans le domaine touristique, lorsqu'il est présent sur les plages et les dunes où il est également un élément indispensable à la protection de la côte.

Il est également utilisé en jet à haute pression pour donner l'effet délavé aux jeans.

Amendement agricole pour à la fois augmenter le PH d'un sol trop acide (ex : culture maraîchère) et améliorer la texture des terres et bien sûr apport minéral (carbonate de calcium, pour ce qui est du sable coquillier) pour certaines cultures (ex : choux).

Défense côtière, pour le rechargement des plages qui cherche à contrecarrer l'érosion, ou pour la création de certaines îles artificielles.

I.4.3.2.2. Économie

Après l'air et l'eau, le sable est la ressource la plus utilisée au monde. Il représente un volume d'échanges internationaux de 70 milliards de dollars par an. Plus de 15 milliards de tonnes sont extraits dans le monde chaque année, soit un tonnage équivalent à la production naturelle de ces sédiments par les fleuves.

I.4.3.3. Différents types de sables

Il existe deux types de sable : sable naturel et sable artificiel.

I.4.3.3.1. Sables naturels

Les sables naturels peuvent être issus des rivières. Également appelé « sable des rivières » ou « sable alluvionnaire », il se caractérise par sa forme arrondie et sa dureté, et il provient de l'action de l'eau sur les rochers.

Un autre type de sable naturel est le sable de carrière, extrait des sablonnières et à la forme angulaire. Le sable de carrière est soit retiré du sol en masse, soit fabriqué à partir de roches extraites en carrière.

Quant au sable de mer, qui provient de roches sous-marines, il est particulièrement chargé en sel. L'utilisation de ce type de sable nécessite un rinçage minutieux et peut être à l'origine d'éventuelles efflorescences.

Enfin, le sable de feuilles est un sable fin, comportant de nombreux vides d'air qui imposent lors de son utilisation une association avec d'autres sables. Ce sable est récupéré sur les reliefs montagneux.

I.4.3.3.2. Sables artificiels

Les sables artificiels comprennent les sables résultant du concassage de blocs de laitier des hauts-fourneaux, le sable concassé obtenu de façon identique mais sans filler, le laitier granulé ayant subi un refroidissement rapide, et le laitier broyé obtenu à partir du concassage du laitier granulé.

I.4.3.4. Qualités requises pour un sable naturel ou artificiel

Un sable est jugé de bonne qualité s'il remplit certaines conditions.

Tout d'abord, il ne doit pas renfermer plus de 3 % d'impuretés (limons, produits industriels nocifs, poussière etc.).

Ensuite, il doit être composé de grains de taille et de dimensions différentes, de manière à remplir les vides laissés entre les divers types de granulats.

I.4.3.5. Utilisation des sables naturels et artificiels

Les sables naturels et artificiels sont employés dans le domaine de la construction pour la fabrication de mortier de ciment et de béton.

Les sables vont augmenter l'ouvrabilité du mortier ou du béton en le rendant plus dense.

CHAPITRE I : Etude Bibliographique

Toutefois, si les sables ronds sont plus malléables, les sables angulaires ont la particularité de rendre le béton plus résistant.

Des mesures particulières sont à prendre pour le sable artificiel provenant du laitier, ce dernier pouvant altérer les liants.

Remarque : les sables utilisés pour la fabrication du béton doivent répondre à la norme [NFEN 12620].

I.4.3.6. Les différentes classes de sable

La classe d'un sable est fonction de la taille de ses grains (granulométrie). Ils existent trois classes de sable à savoir le sable grossier, le sable moyen et le sable fin.

- **Sable grossier**

Ce type de sable a des grains d'une taille comprise entre 5mm et 25mm. Ils peuvent porter l'appellation de gravillon. Ce sable, présente une faible teneur de particule de la fraction 0,080- 2mm.

- **Sable moyen**

C'est un sable dont les grains ont une taille comprise entre 2,50mm et 5mm.

- **Sable fin**

Il est question de sable fin, lorsque les particules qui le constituent, sont inférieures à 2,5mm.

I.4.3.7. Influence de l'origine du sable et la taille de ses grains sur les propriétés des bétons

I.4.3.7.1. Influence du sable sur l'ouvrabilité du béton

En général, la granulométrie du sable influence la quantité d'eau requise pour la formulation du béton. En effet, plus la taille des grains d'un sable est petite, plus la quantité d'eau est importante pour la formulation du béton. Autrement dit, la classe granulaire d'un sable influe sur l'ouvrabilité d'un béton.

- ❖ **Le sable grossier [5mm-25mm]**

Il présente généralement un défaut par rapport à la liquéfaction de la pâte de ciment. Ce défaut se traduit par une instabilité du mélange frais, qui conduit à un ressuage (Etat du béton qui laisse ressortir son humidité intérieure).

CHAPITRE I : Etude Bibliographique

❖ Le sable trop fin [$<2,5\text{mm}$]

Ce sable a une demande en eau de mouillage très élevée. Cette eau augmente le rapport E/C demandant ainsi une augmentation de la quantité de ciment.

❖ Le sable moyen aux grains arrondis

Ce sable contient peu de grains de $\varnothing < 100\mu\text{m}$, mais il est riche en grains moyens de 0,250 à 0,500mm.

Ce type de sable est considéré comme un bon sable pour la fabrication du béton, en termes d'ouvrabilité, car il a un bon rapport à la liquéfaction de la pâte de ciment et ne nécessite pas une augmentation de la quantité d'eau de gâchage.

I.4.3.7.2. Influence du sable sur la résistance à la compression du béton

Le squelette granulaire du béton est l'ensemble des particules solides qui le constitue. La résistance du béton est très influencée par son squelette granulaire, Plus le squelette est compact plus la résistance du béton est élevée. Ainsi, le sable par la taille de ses grains, permet d'optimiser ou non la compacité du squelette granulaire. Par conséquent, il a une répercussion non négligeable sur la résistance du béton.

I.4.3.8. Utilisation du sable local dans le béton en Algérie

En Algérie, la plupart des bétons courants sont actuellement fabriqués avec des granulats siliceux alluvionnaires. Face à une demande fort croissante, les ressources potentielles en alluvions, bien qu'importantes, sont épuisables et les gisements sont soumis à des contraintes environnementales de plus en plus rigides faisant croître leur coût d'exploitation déjà élevé.

Dans notre pays, malgré l'abondance de sable de dune dans le sud, ce matériau reste inconnu. Sa quantité se chiffre en milliards de m³. Il est disponible dans près de 60% du territoire.

De nombreux chercheurs, dans des thématiques scientifiques diverses, cherchent à exploiter ce type de sable, propre et présent à l'abondance. Son utilisation pourrait être liée à sa très forte teneur en silice, matériau à la base d'applications dans l'électronique et l'optique, ce sable présente aussi un grand intérêt économique et environnemental pour l'Algérie. En effet, la hausse de la demande du sable de construction en Algérie, l'incapacité des carrières algériennes à fournir du sable fin et

CHAPITRE I : Etude Bibliographique

l'arrêt programmé de l'utilisation du sable de plage, qui conduit à un grand problème écologique et touristique pour l'Algérie.

Peu de travaux concernant l'effet de la nature du sable sur les propriétés intrinsèques du béton. Les travaux de S. Hachemi et A ; Ounis ont montré que les bétons préparés avec du sable calcaire présentent une plus grande perte de masse que les bétons préparés avec du sable siliceux à partir de 600°C, ce qui s'explique par la décomposition de la calcite CaCO_3 et le départ du CO_2 . La porosité des bétons à base de sable calcaire est supérieure à celle des bétons à base de sable siliceux entre 600°C et 900°C. Les carbonates de sable calcaire entraînent un endommagement supplémentaire du béton. La densité des bétons ne dépend pas de la nature du sable. L'évolution de la densité des bétons préparés avec du sable calcaire était très proche de celle des bétons préparés avec du sable siliceux entre 150°C et 900°C. Les bétons contenant du sable siliceux présentent une augmentation de volume supérieure à celle du béton contenant du sable calcaire après un chauffage à 600°C. Ceci s'explique par l'augmentation du volume de sable siliceux dû à la transformation du quartz α au quartz β qui se produit à 573°C. L'évolution de la résistance à la compression résiduelle des bétons dépend de la nature du sable et du rapport E/C de 20°C à 600°C. Pour un rapport E/C élevé (matrice normale), les bétons ont la meilleure résistance à la compression résiduelle, tandis que pour un rapport E/C faible, les bétons ont le meilleur comportement.

I.5. Conclusion

Ce chapitre nous a permis de mieux connaître les constituants de notre béton et leurs influences sur ce dernier. Ces notions ont une grande importance dans la formulation du béton.

Dans le prochain chapitre, nous allons déterminer les différents matériaux à étudier, les méthodes et le matériel nécessaire à utiliser pour notre étude.

CHAPITRE II :

CARACTERISATION DES

MATERIAUX UTILISES

CHAPITRE II : Caractérisation des matériaux utilisés

II.1. Introduction

L'identification et la caractérisation des matériaux constitutifs permettent une meilleure formulation des bétons. La caractérisation est réalisée par L'utilisation des méthodes et essais normalisés.

Ce chapitre présente les différents constituants utilisés dans notre étude et leurs caractéristiques physiques et mécaniques.

II .2. Présentation des matériaux

II .2.1. Les sables

Cette étude est basée sur quatre différents types de sables utilisés dans les chantiers de la Wilaya de Annaba :

- S1 : Sable de mer.
- S2 : Sable provenant de la Wilaya de Tébessa, de la région de «Lalla Meriem».
- S3 : Sable provenant de la Wilaya de Tébessa, de la région «d'El-Kouif».
- S4 : Sable provenant de la Wilaya de Skikda, de la région de «Azzaba».

Les quatre sables ont été caractérisés par les essais physiques suivants :

- Détermination de la masse volumique apparente.
- Détermination de la masse volumique absolue.
- Détermination de l'équivalent de sable.
- Une analyse granulométrique.

II .2.1.1. Sable de mer (S1)

C'est une variété de sable de mer de la région de la Wilaya de Annaba, ayant une granulométrie moyenne et module de finesse égale à 1.57.



Figure II.1 :Sable de mer.

CHAPITRE II : Caractérisation des matériaux utilisés

II .2.1.2. Sable de «Lalla Meriem» (S2)

Cette variété est un sable de dune, de la région de Lalla Meriem de la wilaya de Tébessa, ayant une granulométrie moyenne et module de finesse égale à 2.63.



Figure II.2 : Sable de «LallaMeriem».

II.2.1.3. Sable d'El-Kouif (S3)

Cette variété est un sable de dune, de la région d'El-Kouif de la wilaya de Tébessa, ayant une granulométrie moyenne et module de finesse égale à 2.67.



Figure II.3 : Sable de «El-Kouif».

II.2.1.4. Sable d'Azzaba

Cette variété est un sable de dune, de la région d'Azzaba de la wilaya de Skikda, ayant une granulométrie moyenne et module de finesse égale à 1.8.



Figure II.4 : Sable de « Azzaba».

CHAPITRE II : Caractérisation des matériaux utilisés

II .2.2. Les graviers

Les graviers sont extraits par concassage des roches naturels, dans cette étude nous avons utilisé deux fractions de gravier : G1 8/16 et G216/25.



Figure II.5 : Gravier G1 et G2.

Pour la caractérisation de chacun de ces matériaux, nous avons réalisé trois essais, la valeur de la moyenne de ces essais est mentionnée dans des tableaux représentés à la fin de ce chapitre.

II.2.3. Le ciment

Le ciment utilisé dans cette étude est un ciment portland composés (CPJ) de classe 42,5 fabriqué par la cimenterie de HADJAR ESSOUD, avec une composition chimique donnée par le fabricant et des caractéristiques physiques et mécaniques déterminées au laboratoire.



Figure II.6 : Sacs de ciments de la cimenterie HadjarEssoud.

CHAPITRE II : Caractérisation des matériaux utilisés

II.2.4. Eau de gâchage

Les conditions imposées à l'eau de gâchage sont précisées par la norme [FP18-303].

Cette eau doit être propre et sans matière organique, la norme n'autorise pas l'emploi de l'eau de mer que dans des cas très particuliers.

L'eau utilisée dans notre étude est une eau potable de robinet de la ville d'Annaba.

II.3. Essais de caractérisation et résultats

II.3.1. Essais de caractérisation

II.3.1.1. Analyse granulométrique

L'analyse permet de déterminer et d'observer les différents diamètres de grains qui constituent un granulat.

Pour les sables, on utilise en général les tamis de modules suivants : 5, 4, 3.15, 2.5, 2, 1.25, 0.63, 0.315, 0.16, 0.08mm.

Pour le gravier on utilise la série suivante : 25, 20, 16, 12.5, 10, 8, 6.3mm.

L'essai est réalisé selon la norme [NF P 18-56].

II.3.1.2. Module de finesse

La norme [XP P18-540] définit le module de finesse d'un sable, qui caractérise sa granularité, comme le 1/100 de la somme de refus, exprimés en pourcentage, sur les différents tamis de la série suivante: 5, 2.5, 1.25, 0.63, 0.315, 0.16mm.

$$Mf = \frac{1}{100} \sum_{0,16}^5 Ai \text{ (II.1)}$$



Figure II.7 : Analyse granulométrique du sable.

CHAPITRE II : Caractérisation des matériaux utilisés

II.3.1.3. L'essai d'équivalent de sable (mesure de la propreté)

Cet essai a pour but de mesurer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons, l'essai consiste à séparer les flocules fins contenus dans le sable. Une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui-ci selon la norme [P18-597].

$$Es = 100 * \frac{H2}{H1} \quad (II.2)$$



Figure II.8: Essai de l'équivalent de sable.

II.3.1.4. La masse volumique apparente

La masse volumique apparente est la masse d'un corps par unité de volume y compris les vides entre les grains. Cet essai est réalisé selon la norme [NF EN 1097-3].

L'essai consiste à remplir un récipient vide de volume connu de matériau sec sans le tasser et à peser ensuite cette quantité de matériau. On calcul la valeur de la masse

volumique par le rapport : $\rho_{app} = \frac{M}{V}$ (g /cm³) (II. 3)

L'essai est répété trois fois pour chaque matériau. La moyenne des essais constitue la valeur de la masse volumique apparente.



Figure II.9: Essai de la masse volumique apparente.

CHAPITRE II : Caractérisation des matériaux utilisés

II.3.1.5. La masse volumique absolue

La masse volumique absolue est la masse d'un corps par unité de volume sans vide entre les grains. Cet essai est réalisé selon la norme [NF EN 1097-3].

Il s'agit de mesurer la masse, par unité de volume de matière pleine sans aucun vide entre les grains, en versant une quantité connue de la poudre dans un liquide inerte, si la matière est hydraulique, sinon, dans l'eau. La différence de volume rapporté à la masse du matériau nous donne la masse volumique absolue. Cet essai est réalisé selon la norme [NF EN 1097-3].

$$\rho_{abs} = \frac{M}{V_2 - V_1} (\text{g/cm}^3) \quad (\text{II.4})$$



Figure II.10 : Essai de la masse volumique absolue.

II.3.1.6. La finesse de mouture de ciment

Elle est obtenue à partir du refus sur le tamis 0.08 mm (80 μm) qui doit être inférieure à 5%, mais aussi par le perméabilimètre de Blaine. Les résultats sont fournis par la cimenterie de HADJR ESSOUD.

II.3.1.7. Consistance normale

Le but est de déterminer la quantité d'eau nécessaire pour le ciment à l'aide de l'appareil de Vicat équipé d'une sonde de 10mm de diamètre, selon la norme [NF EN 196-3].

II.3.1.8. La porosité

A partir de la masse volumique absolue on déduit la porosité qui a été défini par la formule suivante :

$$P = \left(1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}}\right) * 100 \quad (II.5)$$

P : la porosité.

M_{vapp} : masse volumique absolue.

M_{vabs} : masse volumique apparente.

II.3.1.9. Taux d'absorption d'eau

C'est le rapport entre la masse d'eau absorbée par l'échantillon séché et la masse sèche de l'échantillon exprimé en pourcent, selon la norme [NF P 18-555]

$$W = \frac{M_a - M_s}{M_s} * 100 \quad (II.6)$$

- M_a : la masse de l'échantillon séché à 105°C, jusqu'à une masse constante entre deux pesés successives.

- M_s : la masse du dernier échantillon immergé pendant 24h dans l'eau et séché à l'aide d'un flux d'air jusqu'à l'état imbibé surface sèche (grain libre de toute force d'attraction capillaire).

Cette propriété permet d'estimer la quantité d'eau de gâchage.

II.3.1.10. Essais los-Angeles [NFP 18-573]

Cette essai consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1.6 mm, produite en soumettant le matériau au choc de boulets normalisés dans la machine los-Angeles.

La granularité du matériau soumis à l'essai est choisie parmi les 6 classes granulaires : 4/6.3mm - 6.3/10mm - 10/14mm - 10/25mm - 16/31.5mm - 25/50mm.

Le coefficient los-Angles est défini par le rapport :

$$LA = \frac{5000 - M'}{5000} * 100 \quad (II.7)$$

M' : masse sèche après essai et tamisage au tamis 1.6mm.



Figure II.11 : Essai Los Angeles.

II.3.1.11. Essai Micro Deval[EN 1097-1]

L'essai micro-Deval a pour but la détermination de la résistance à l'usure par le frottement réciproque des éléments d'un granulat selon la norme européenne.

Le matériau soumis à cet essai évolue par frottement des éléments les uns sur les autres, sur le cylindre de la machine en rotation et sur les boulets (charge abrasive).

La granulométrie de l'échantillon doit être conforme à l'une des classes granulaires types : 4-6,3 ; 6,3-10 ; 10-14 ; 25-50.

Le coefficient de micro-Deval se calcul comme suit:

$$CMD = 100 * \frac{m}{M} \text{(II.8)}$$

M : la masse du matériau soumis à l'essai.

m : la masse des éléments inférieurs à 1,6 mm produits au cours de l'essai.



Figure II.12 : Essai Micro Deval.

CHAPITRE II : Caractérisation des matériaux utilisés

II.3.2. Résultats obtenus

II.3.2.1. Analyse granulométrique

Tableau II.1: Composition granulométrique du sable S1

Tamis	mi (g)	ai(%)	Ai(%)	Tamisât
5	0	0	0	100
4	0	0	0	100
3.15	0	0	0	100
2.5	0	0	0	100
2	0	0	0	100
1.25	0	0	0	100
1	0	0	0	100
0.63	0	0	0	100
0.315	689.7	69.25	69.25	30.75
0.16	170.4	17.11	86.36	13.64
0.125	134.8	13.53	99.89	0.11
0.08	1.1	0.11	100	0
Fond	0	0	100	0
La somme	996			

Tableau II.2: Composition granulométrique du sable S2

Tamis	mi (g)	ai(%)	Ai(%)	Tamisât
5	0	0	0	100
4	1.5	0.15	0.15	99.85
3.15	3.6	0.35	0.50	99.5
2.5	6	0.61	1.11	99.89
2	9.2	0.94	2.05	97.95
1.25	36.8	3.75	5.8	94.2
1	28.8	2.94	8.74	91.26
0.63	556.8	56.80	65.54	34.46
0.315	272.2	27.76	93.3	6.7

CHAPITRE II : Caractérisation des matériaux utilisés

0.16	43.8	4.47	97.77	2.23
0.125	10.9	1.11	98.88	1.12
0.08	6.2	0.63	99.51	0.49
Fond	4.6	0.47	99.98	0.02
Somme	980.4			

Tableau II.3: Composition granulométrique du sable S3

Tamis	mi (g)	ai(%)	Ai(%)	Tamisât
5	0	0	0	100
4	1.5	0.15	0.15	99.85
3.15	4.1	0.41	0.56	99.44
2.5	5.4	0.54	1.1	98.9
2	9.7	0.97	2.07	97.93
1.25	36	3.61	5.68	94.32
1	25.5	2.59	8.27	91.73
0.63	649.7	65.20	73.47	26.53
0.315	163.3	16.39	89.86	10.14
0.16	79.9	8.02	97.88	2.12
0.125	11.2	1.12	99	1
0.08	5.4	0.54	99.54	0.46
Fond	4.8	0.48	100.02	-0.02
La somme	996.5			

Tableau II.4: Composition granulométrique du sable S4

Tamis	mi (g)	ai(%)	Ai(%)	Tamisât
5	0	0	0	100
4	0	0	0	100
3.15	0	0	0	100
2.5	0	0	0	100
2	0.8	0.08	0.08	99.92
1.25	31.9	3.2	3.28	96.72
0.63	74.9	65.05	10.79	89.21
0.315	648.9	65.05	75.84	24.16

CHAPITRE II : Caractérisation des matériaux utilisés

0.16	144.1	144.44	90.28	9.72
0.125	94	9.48	99.7	0.3
0.08	1.2	0.12	99.82	0.18
Fond	1.8	0.18	100	0
La somme	997.69			

Tableau II.5: Composition granulométrique du gravier G1

Tamis	mi (g)	ai (%)	Ai (%)	Tamisât
16	48.6	1.53	1.53	98.47
12.5	429.9	13.50	15.03	84.97
10	869.9	27.31	42.34	57.66
8	858.2	26.94	69.28	30.72
6.3	349.7	10.98	80.26	19.74
Fond	629.3	19.75	100	0.00
Somme	3185.6			

Tableau II.6: Composition granulométrique du gravier G2

Tamis	mi (g)	ai (%)	Ai (%)	Tamisât
25	135	2.71	2.71	97.29
20	1360	27.34	30.05	69.95
16	2890	58.09	88.14	11.86
Fond	590	11.86	100	0
Somme	4975			

CHAPITRE II : Caractérisation des matériaux utilisés

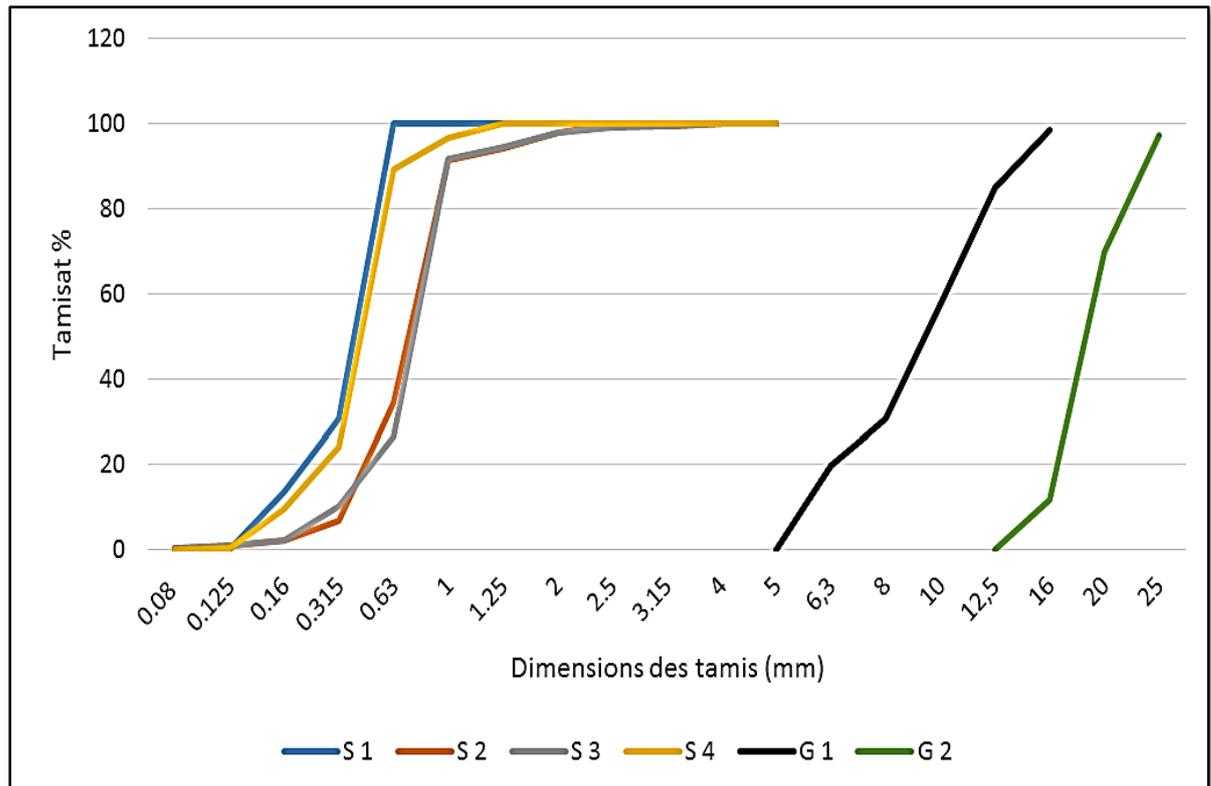


Figure II.13: Composition granulométrique des sables et graviers utilisés

II.3.2.2. Caractéristiques des sables utilisés

Tableau II.7: Propriétés physiques des sables utilisés

Caractéristique	Unité	S1	S2	S3	S4
Module de finesse	/	1.56	2.64	2.68	1.80
Masse volumique apparente	g/cm ³	1.34	1.99	1.35	1.36
Masse volumique absolue	g/cm ³	2.56	2.71	2.543	2.62
Porosité	%	47.03	49.15	46.66	48.08
Equivalent de sable	%	90.11	95.39	98.95	95.71

CHAPITRE II : Caractérisation des matériaux utilisés

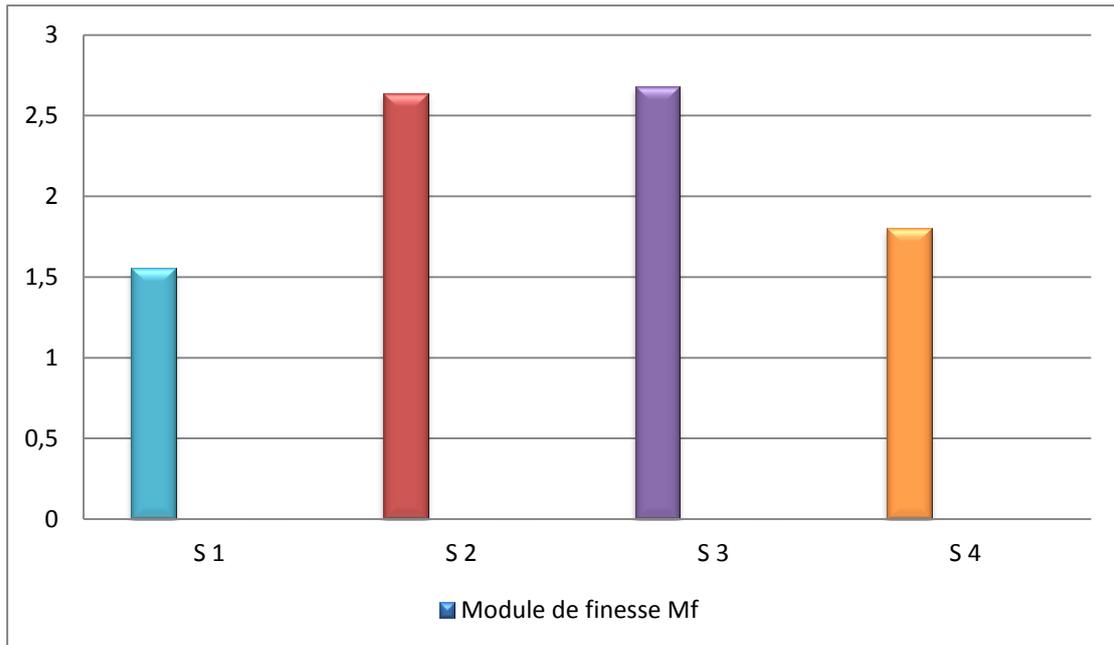


Figure II.14 : Les modules de finesse des sables utilisés.

Les modules de finesse des deux sables S2 et S3 sont proches alors que ceux des deux sables S1 et S4 sont inférieurs à 2.

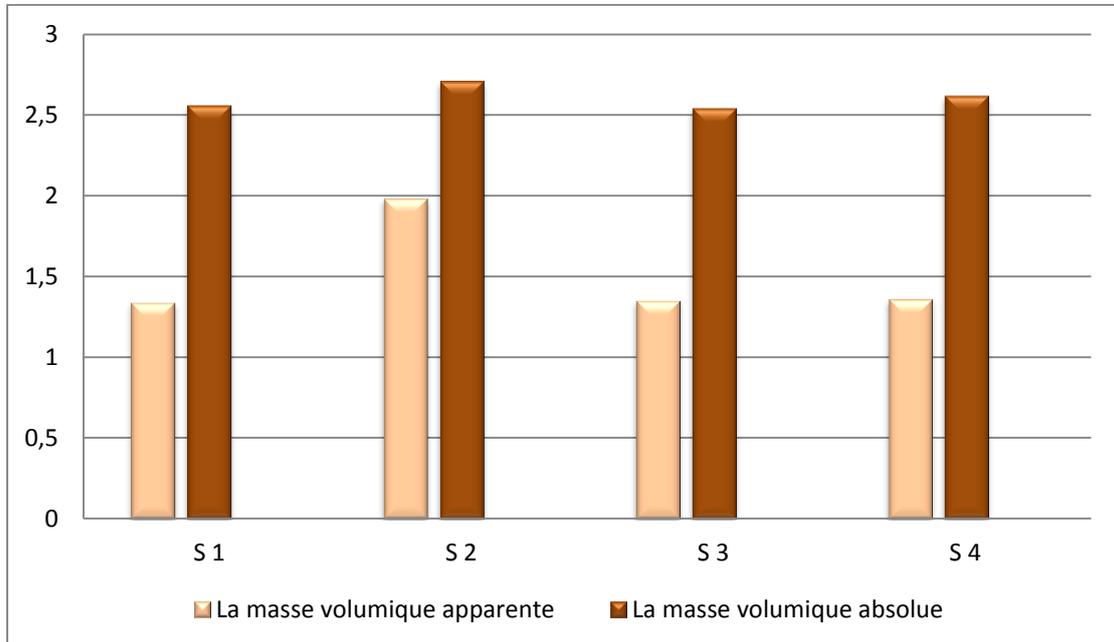


Figure II.15 : Les masses volumiques apparentes et absolues des sables utilisés.

Le sable S2 possède des masses volumiques apparentes et absolue supérieures à celles des trois autres sables S1, S3 et S4.

CHAPITRE II : Caractérisation des matériaux utilisés

II.3.2.3. Caractéristiques des deux fractions de gravier utilisé

Tableau II.8: Propriétés physiques des graviers utilisés

Caractéristique	Unité	G1	G2
Masse volumique apparente	g/cm ³	1.38	1.41
Masse volumique absolue	g/cm ³	2.63	2.6
Porosité	%	47.53	45.77
Los Angeles	%	20.45	22.75
Micro Deval	%	4.82	17

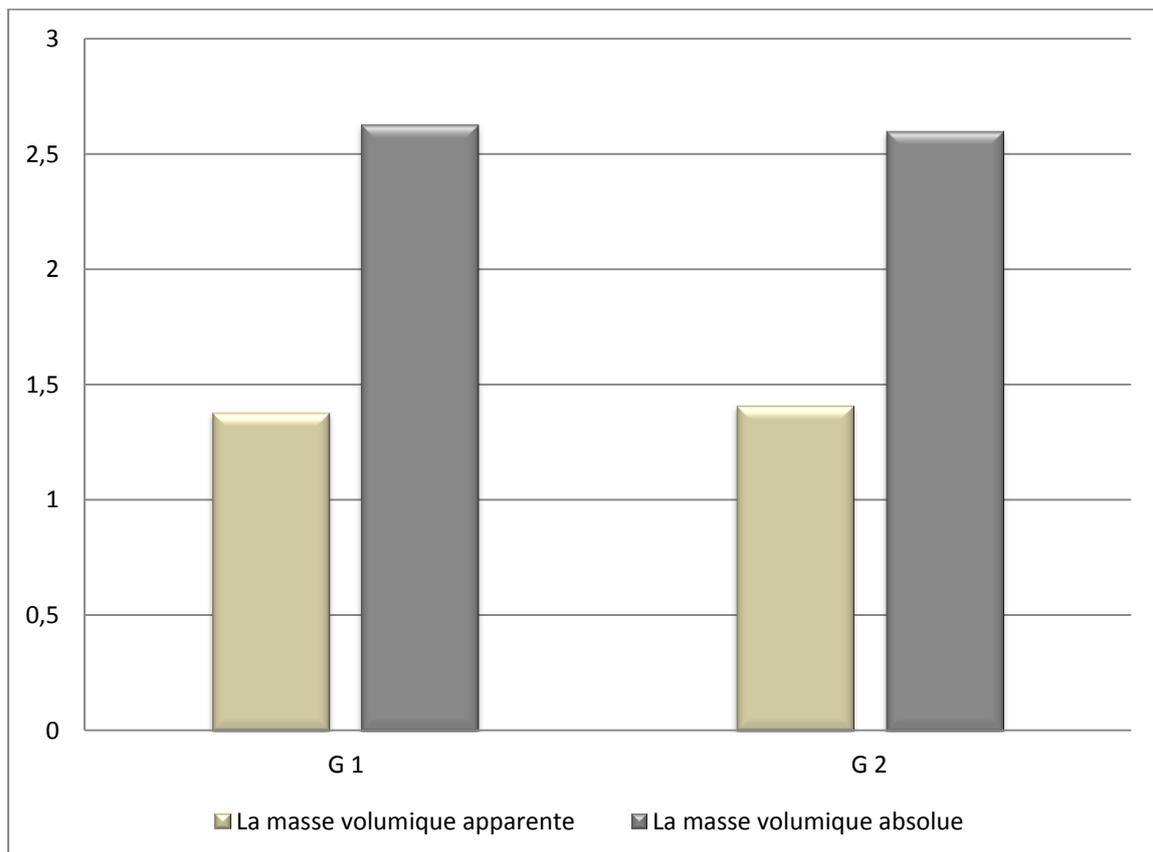


Figure II.16: Les masses volumiques apparentes et absolues des graviers utilisés

CHAPITRE II : Caractérisation des matériaux utilisés

II.3.2.4. Caractéristiques du ciment utilisé

➤ Caractéristiques chimiques

Le ciment CPJ/CEMII 42.5 est caractérisé comme suit :

Tableau II.9: Compositions chimique du ciment

CaO	AL ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Cl ⁻	SO ₃	P.A.F	TOTAL
60.24	5.69	23.25	3.36	0.74	0.27	0.45	0.006	1.94	1.67	99.41

Tableau II.10 : Compositions du clinker

C2S%	C3S%	C3A	C4AF%
16.45	59.66	9.14	11.02

➤ Les caractéristiques physiques et mécaniques du ciment

Tableau II.11 : Caractéristiques physiques et mécaniques du ciment

Caractéristique	Unité	Valeur
La masse volumique apparente	g/cm ³	10.47
La masse volumique absolue	g/cm ³	3.1
Consistance normale	%	28
Début de prise	H /min	-
Finesse de mouture sur tamis 100 µm	%	1.71
Surface spécifique	Cm2 /g	3726
Résistance à la traction	MPa	7.36
Résistance à la compression	MPa	42.07

II. 4. Conclusion

La présentation et la caractérisation des matériaux utilisés sont nécessaires pour une meilleure formulation du béton à étudier. A partir des résultats obtenus nous arrivons aux constatations suivantes:

- La granulométrie des sables et graviers testés est différente.
- Le module de finesse du sable de mer est inférieur que celui des sables des dunes.
- Les valeurs moyennes de l'équivalent de sable montrent que les sables utilisés sont très propres ($ES > 85$), il y a donc absence presque totale des fines argileuses.
- L'essai los-angles montre que notre gravier offre une bonne à moyenne résistance au choc.

Le Chapitre suivant sera consacré à l'étude de la formulation des bétons ordinaires avec différents types de sable.

CHAPITRE III :

FORMULATION DES BETONS

& METHODES EXPERIMENTALES

III.1. Introduction

Le béton ordinaire est un mélange de sable(s), gravillon(s), ciment(s) et eau. Une fois les éléments mélangés et homogénéisés, on obtient un matériau que les physiciens appellent « Pâte granulaire », dont la consistance peut varier, en fonction des besoins, de l'état ferme (comme la terre humide) à fluide (comme le miel liquide). Cette pâte granulaire durcit, même sous l'eau, après quelques heures, par un jeu de réactions chimiques des composés du ciment avec l'eau, qu'on appelle hydratation. La résistance du béton augmente avec le temps pendant plusieurs décennies, mais, pour le dimensionnement des ouvrages, la résistance à l'âge de 28 jours est en général retenue, car elle donne une bonne estimation de la résistance finale.

L'étude de formulation a pour but de sélectionner les constituants du béton et de choisir leur proportions dans le but de répondre aux caractéristiques visées. Ces caractéristiques sont la résistance caractéristique du béton à 28 jours et la classe d'exposition du béton. La résistance du béton est une donnée nécessaire pour le dimensionnement. La donnée de la classe d'environnement nous conduit à respecter un dosage minimum en ciment et à ne pas dépasser un rapport de la masse d'eau à la masse de ciment, appelé e/c.

La formulation du béton permet donc de répondre à des critères de résistance (en compression), d'ouvrabilité et de durabilité.

III.2. Formulation

La formulation d'un béton se fait en lien avec une opération (construction, étude ...etc.), dans notre cas, nous nous placerons dans le cadre de la formulation d'un matériau allant servir à étudier l'influence des caractéristiques des sables utilisés dans les chantiers de la Wilaya de ANNABA sur les propriétés des bétons ordinaires à l'état frais et l'état durci.

Nous avons utilisé quatre sables différents, donc nous allons formuler quatre bétons ordinaires que nous allons nommer :

B.O 1 : béton ordinaire avec le sable de mer (plage Saint Cloud).

B.O 2 : béton ordinaire avec le sable de la région de Lalla Meriem (Tébessa).

B.O 3 : béton ordinaire avec le sable de la région d'El-Kouif (Tébessa).

B.O 4 : béton ordinaire avec le sable de la région de Azzaba (Skikda).

CHAPITRE III : Formulation des bétons & méthodes expérimentales

Les caractéristiques visées pour nos quatre bétons ordinaires dans l'objectif d'effectuer notre étude sont :

- Consistance recherchée pour la mise en œuvre : béton plastique vibré normalement avec un affaissement visé de l'ordre de 7 cm.
- Résistance caractéristique à 28 jours $\sigma_b = 30\text{MPa}$.

Les caractéristiques des matériaux à disposition sont citées dans le 2ème chapitre.

III.2.1. Méthode de formulation

Dans cette étude, nous avons utilisé la méthode de Dreux-Gorisse pour formuler le béton ordinaire, cette méthode de formulation passe par trois phases :

- ❖ L'obtention du rapport C/E à partir de la résistance et donc la qualité de la pâte visée :

$$\frac{C}{E} = \frac{f_c}{(G.F_{CE})} + 0,5 \quad (\text{III.1})$$

- ❖ La détermination de la quantité de pâte C+E et la compacité du squelette granulaire maximum découlant de l'ouvrabilité souhaitée :

a) Évaluation de la quantité de ciment C et de la quantité d'eau E

D'après le rapport C/E trouvé et l'affaissement visé, on peut connaître le dosage du ciment du graphe de la figure III.1, ensuite calculer le dosage en eau.

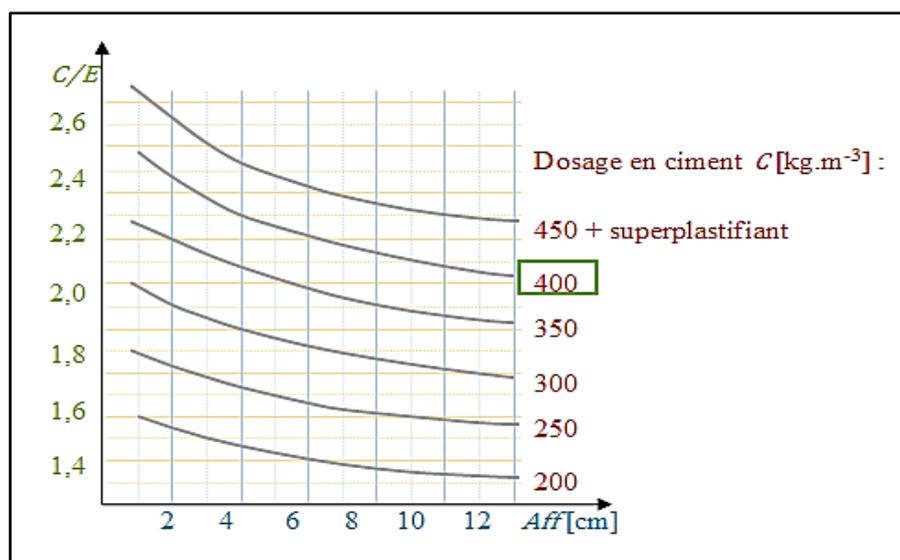


Figure III.1 : Abaque pour l'estimation de la quantité de ciment.

b) Evaluation des dosages des granulats

Le dosage en granulats est calculé graphiquement selon la Courbe granulaire de référence :

Sur le graphique d'analyse granulométrique respectant la norme NF-EN-933-1, on trace une composition granulaire de référence O A B. Le point O est placé à l'origine du graphique, le point B correspond à la dimension D_{max} des plus gros granulats à l'ordonnée 100%. Le point de brisure A, est déterminé par en abscisse (à partir de la dimension des plus gros granulats D_{max}) :

- Si $D_{max} \leq 20$ mm, l'abscisse est $D_{max} / 2$.
- Si $D_{max} > 20$ mm, l'abscisse est située au milieu du segment gravier limité par le module 38 (5 mm) et le module correspondant à D_{max} ;

En ordonnée $Y = 50 - \sqrt{D_{max}} + K$ (III.2), où K est un terme correcteur obtenu par le tableau III.1.

Deux cas nécessitent une correction supplémentaire du terme correcteur K :

Si le module de finesse est différent de 2,5 (la valeur de 2,5 correspond à une valeur optimale), une correction supplémentaire peut être effectuée en ajoutant la valeur $K_s = 6Mf - 15$ (Mf étant le module de finesse du sable) ;

Si la qualité du béton est précisée pompable, il convient de conférer au béton le maximum de plasticité et de l'enrichir en sable par rapport à un béton de qualité; le terme correcteur K sera majoré par un terme $KP = +5$ à $+10$ environ, selon le degré de plasticité désiré.

Tableau III.1 : Valeur du terme correcteur K en fonction du dosage en ciment, de la puissance de la vibration et de l'angularité des granulats.

Vibration	Faible		Normale		Puissante	
Forme des granulats	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
400+Superplastifiant	-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	+7	+4	+6	+2	+4
200	+8	+10	+6	+8	+4	+6

Utilisation de la courbe granulair de référence

La figure III.2 présente la méthode d'utilisation de la courbe granulair de référence afin de déduire les pourcentages des granulats utilisés. Le segment A'B' relie le point A' à 95% de tamis cumulé d'un granulat avec le point B' à 5% de tamis cumulé de la courbe granulométrique du granulat directement supérieur en dimension.

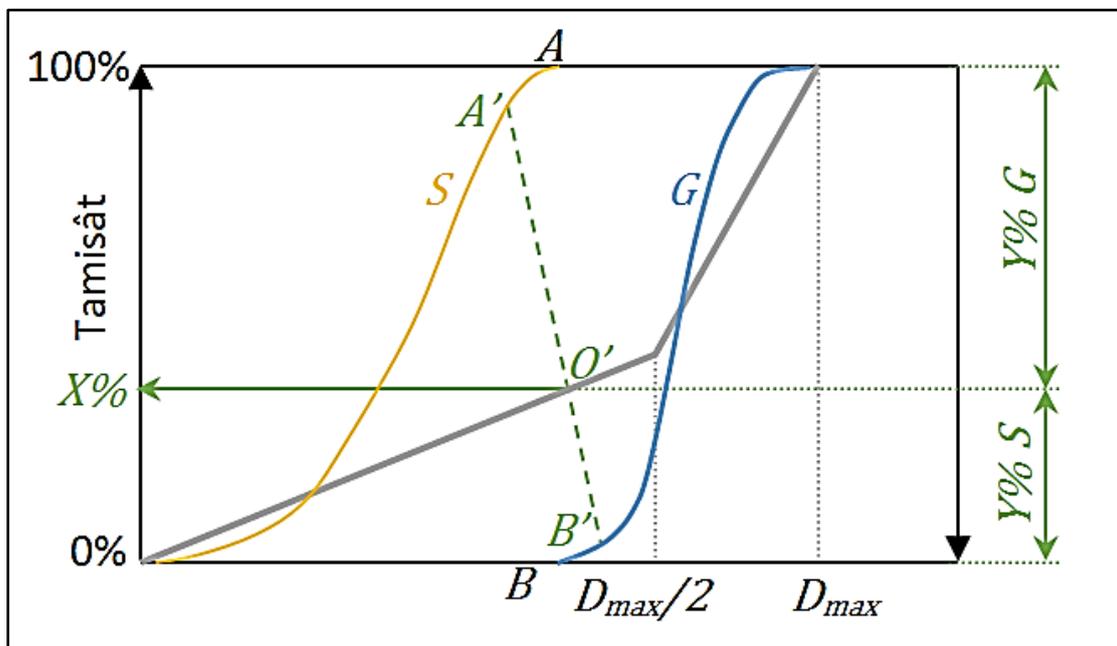


Figure III.2 : Utilisation de la courbe granulair de référence.

Du graphe, on obtient :

Le pourcentage du sable, le pourcentage du gravier G1 et le gravier G2.

Estimation du coefficient de compacité γ

Le coefficient de compacité γ estimé à l'aide du tableau III.2 permet de déduire la quantité des différents autres composants de la formulation selon la formule suivante :

$$V_g = 1000 \gamma - V_c \quad (III.3)$$

Tableau III.2 : Valeur du coefficient de compacité γ

Consistance	Serrage	Coefficient de compacité γ						
		$D_{\max}=5$	$D_{\max}=10$	$D_{\max}=12,5$	$D_{\max}=20$	$D_{\max}=31,5$	$D_{\max}=50$	$D_{\max}=80$
Molle	Piquage	0,750	0,780	0,795	0,805	0,810	0,815	0,820
	Vibration faible	0,755	0,785	0,800	0,810	0,815	0,820	0,825
	Vibration normale	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
Plastique	Piquage	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
	Vibration faible	0,765	0,795	0,810	0,820	0,825	0,830	0,835
	Vibration normale	0,770	0,800	0,815	0,825	0,830	0,835	0,840
	Vibration puissante	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
Ferme	Vibration faible	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
	Vibration normale	0,780	0,810	0,825	0,835	0,840	0,845	0,850
	Vibration puissante	0,780	0,815	0,830	0,840	0,845	0,850	0,855

c) Calcul des quantités du sable et des deux types de gravier pour chaque formulation

$$V_s = V_g * \% S \text{ (III.4)}$$

$$M_s = V_s * \rho_s \text{ (III.5)}$$

$$V_{G1} = V_g * \% G1 \text{ (III.6)}$$

$$M_{G1} = V_{G1} * \rho_G \text{ (III.7)}$$

$$V_{G2} = V_g * \% G2 \text{ (III.8)}$$

$$M_{G2} = V_{G2} * \rho_G \text{ (III.9)}$$

Le bilan des quantités de chacun des constituants (masses de C, E, S, G1, G2) et la densité du béton Δ :

Après application, les résultats des quatre formulations des bétons ordinaires avec quatre types de sable différents sont présentés dans des tableaux.

III.2.2. Résultats des formulations

Nous avons tracé les courbes granulaires de référence de chaque sable et calculer la formulation des quatre bétons ordinaire (1m³) avec les quatre types de sable différent.

1) Courbes granulaires de référence de chaque sable

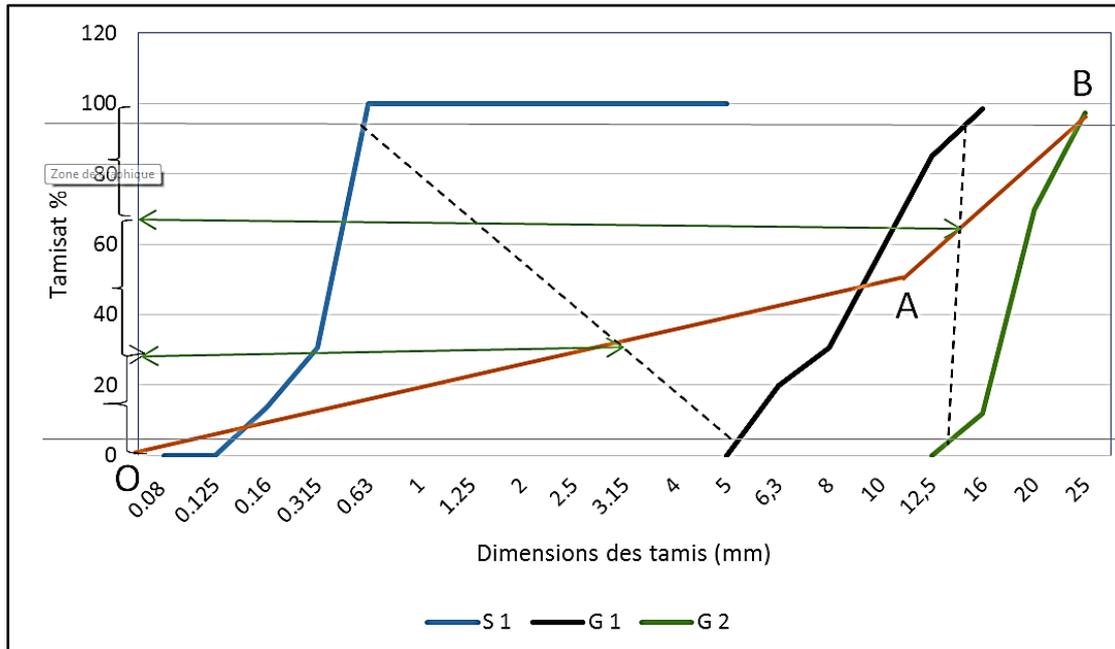


Figure III.3: Courbe granulaire de référence du B.O 1.

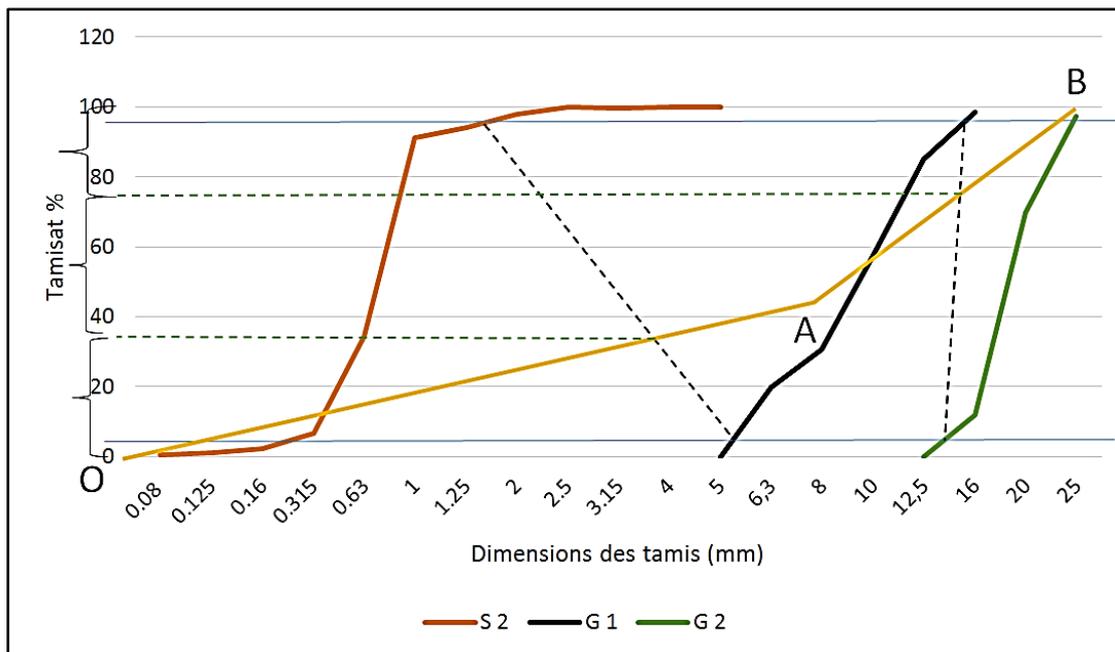


Figure III.4: Courbe granulaire de référence du B.O 2.

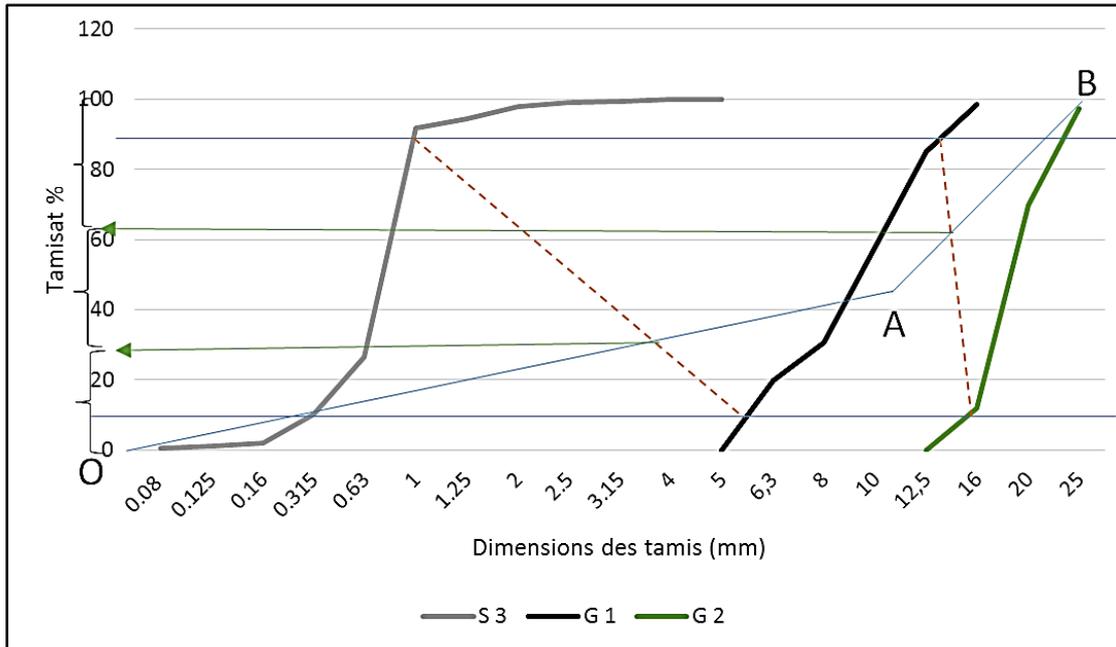


Figure III.5: Courbe granulair de référence du B.O 3.

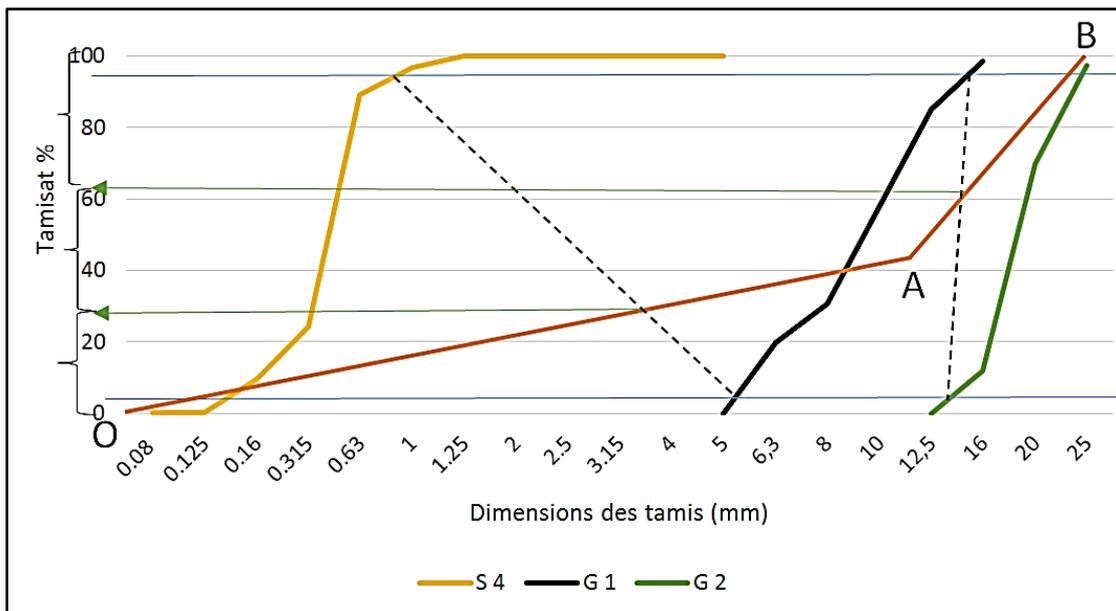


Figure III.6: Courbe granulair de référence du B.O 4.

Les résultats obtenus après calculs sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau III.3 : Résultats de formulation des B.O 1, B.O 2, B.O 3, B.O 4

	UNITE	B.O 1	B.O 2	B.O 3	B.O 4
CIMENT	Kg	387.5	387.5	387.5	387.5
EAU	Kg	202.88	202.88	202.88	202.88
SABLE	Kg	500.17	596.7	596.7	544.05
GRAVIER 1	Kg	586.17	544.05	544.05	544.05
GRAVIER 2	Kg	668.65	614.25	614.25	666.9
DENSITE Δ	/	2.34	2.34	2.34	2.34

III.3. Procédure expérimentale

L'objectif du travail expérimental présenté dans ce chapitre est de mieux comprendre l'influence de la nature du sable sur les mécanismes qui régissent le comportement physico-mécanique des bétons ordinaires. Ainsi, nous nous intéressons tout d'abord à l'influence des caractéristiques et les propriétés du sable sur la résistance à la rupture des bétons d'études.

III.3.1. Préparation des constituants du béton et moules d'éprouvettes [NF EN12390-1]

Cette opération est assurée à l'aide d'une balance électronique appropriée (pour plus de précision). En effet on procède d'abord au tarage de la balance par rapport au récipient puis on pèse le poids voulu.

Quant aux moules, il faut bien les nettoyer et les graisser afin que le démoulage soit facile.

Nous avons utilisé 12 éprouvettes cubiques de dimensions (10*10*10) cm, 09 éprouvettes prismatique de (7*7*28) cm et 03 éprouvettes cylindriques de (11*22) cm.



Figure III.7: Différents constituants du béton.

III.3.2. Procédure de malaxage [EN 480-1]

Après avoir préparé les dosages calculés, on met le tout dans la bétonnière en suivant un ordre granulométrique décroissant (on ajoute les graviers, le sable ensuite le ciment, qui ne doit jamais être ajouté au début car volatile, puis on malaxe le tout pendant 2mn, après on ajoute progressivement la quantité d'eau de gâchage calculée afin de rendre le mélange homogène et continue le malaxage jusqu'à 5mn.



Figure III.8: Malaxage des constituants.

III.3.3 L'essai de maniabilité au cône d'Abrams [NF P 18-451]

L'essai consiste à verser le béton fraîchement préparé dans le cône standardisé en 3 couches successives, tout en fixant celui-ci sur la plaque de dessous. Après chacune des couches, on pique celle-ci de 25 coups de tige bien répartie sur la couche, on arase la dernière couche, on démoule, on laisse stabiliser, puis on mesure l'affaissement.



Figure III.9: Essai du cône d'Abrams.

III.3.4 Calcul de la densité du béton préparé

III.3.4.1 A l'état frais [NF EN 12350-6]

On pèse le moule qui contient les 03 éprouvettes cubique vide, on le remplit de béton frais, on le nettoie après vibration et le pèse rempli ensuite on calcul la masse volumique à l'état frais comme suit :

$$\rho = \frac{M_r - M_v}{V} \quad (\text{III.10})$$



Figure III.10: Calcul de ρ à l'état frais.

III.3.4.2 A l'état durci [NF EN 12390-7]

On pèse une éprouvette après démoulage et on calcul sa masse volumique selon la formule suivante :

$$\rho = \frac{m}{v} \text{(III.11)}$$



Figure III.11: Calcul de ρ à l'état durci.

III.3.5 Confection des éprouvettes [NF P18 404]

Le compactage des moules est effectué sur une table vibrante, la vibration doit être appliquée durant le temps nécessaire au serrage à refus du béton, il est préférable que le moule soit fixe ou maintenu fermement contre cette table, toute autre vibration excessive doit être évitée, afin de ne pas provoquer une diminution de l'air entraîné.



Figure III.12: Table vibrante.

III.3.5.1 Vibration [NF P18 421]

La mise en place du béton est réalisée sur une table vibrante, la vibration doit être appliquée durant le temps nécessaire au serrage a refus du béton, il est préférable que le moule soit fixe ou maintenu fermement contre cette table, toute autre vibration excessive doit être évitée, afin de ne pas provoquer une diminution de l'air entraîné.



Figure III.13:Table vibrante.

III.3.6 Conservation des éprouvettes

Après 24 heures de conservation des moules a l'aire libre, les éprouvettes sont démoulés et conservés dans un bassin d'eau (humidité relatif HR = 100 et température ambiante).



Figure III.14: Conservation des éprouvettes.

III.3.7 Caractérisation mécanique des différentes compositions

Trois essais mécaniques ont été réalisés sur les éprouvettes de différentes compositions de béton conservé dans l'eau pendant 7 jours, 14 jours et 28 jours.

III.3.7.1 Essai de la résistance à la compression [NF EN 12390-3]

La caractéristique essentielle d'un béton à l'état durci est la résistance mécanique en compression à l'âge de 28 jours. Le béton est un matériau qui travaille bien en compression.

La résistance à la compression du béton est mesurée par la charge conduisant à l'écrasement par compression axiale d'une éprouvette cubique (10*10*10) cm. Les éprouvettes sont chargées jusqu'à rupture dans une machine pour essai de compression, La charge maximale atteinte est enregistrée et la résistance en compression calculée selon la formule suivante :

$$R_c = \frac{P}{S} \text{ (III.12)}$$

R_c : la résistance en compression (MPa) ou (N/mm²).

P : la charge maximale (N).

S : section de l'éprouvette (mm²).



Figures III.15 : Essai de la résistance à la compression.

III.3.7.2 Essai de la résistance à la traction par flexion [NF EN 12390-5]

L'essai consiste à rompre une éprouvette prismatique de dimensions de (7*7*28) cm par application d'une charge au moyen de rouleaux supérieurs et inférieurs. La charge maximale enregistrée au cours de l'essai est notée et la résistance à la flexion est calculée selon la formule suivante :

$$R_{tf} = \frac{3}{2} \frac{PL}{bh^2} \text{(III.13)}$$

R_{tf} : la résistance en traction par flexion (MPa) ou (N/mm^2).

P : la charge maximale (N).

L : écartement entre les appuis (mm).

b : épaisseur de l'éprouvette (mm).



Figure III.16 : Essai de la résistance à la traction par flexion.

III.3.7.3 Essai de la résistance à la traction par fendage [NF EN 12390-6]

L'essai consiste à écraser un cylindre (11*22) cm de béton placé suivant deux génératrices opposées entre les deux plateaux de la presse. La résistance en traction par fendage est donnée par la formule suivante :

$$R_{tfd} = \frac{2F}{\pi DL} \text{ (III.14)}$$

R_{tfd} : la résistance en traction par fendage (MPa) ou (N/mm²).

F : la charge maximale (N).

D : le diamètre nominal de l'éprouvette (mm).

L : la longueur de la ligne de contact de l'éprouvette (mm).



Figure III.17 : Essai de la résistance à la traction par fendage.

III.4. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons évoqué la méthode de formulation des bétons d'étude par l'utilisation de méthode de Dreux Gorisse.

Nous avons calculé les différents composants (ciment, sable, gros granulats et eau). Les différentes techniques d'expérimentation sont relatées dans ce même chapitre. La partie qui suivra sera consacré à l'interprétation des résultats obtenus.

CHAPITRE IV :

Résultats & discussions

CHAPITRE IV : Résultats & discussions

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre nous avons analysé les résultats des essais effectués sur les différents bétons d'études en ce qui concerne les caractérisations à l'état frais et durci ainsi la durabilité vis-à-vis à l'eau.

IV.2. Rhéologie des bétons frais

Dans la partie précédente, nous avons exposé les caractéristiques des matériaux utilisés, ainsi que la formulation des bétons qui doivent être étudiés.

Cette partie portera sur la présentation et la discussion des résultats des essais expérimentaux obtenus sur les différents bétons testés, à savoir les essais à l'état frais: affaissement au cône d'Abrams et masse volumique, ainsi qu'à l'état durci : résistance mécanique à la compression, à la traction par fendage et traction par flexion, masse volumique de béton.

IV.2.1. Affaissement au cône

Tableau IV.1 : Résultats d'affaissements au cône d'Abrams.

Type de béton	B.O 1	B.O 2	B.O 3	B.O 4
Affaissement (cm)	7	7	6	5

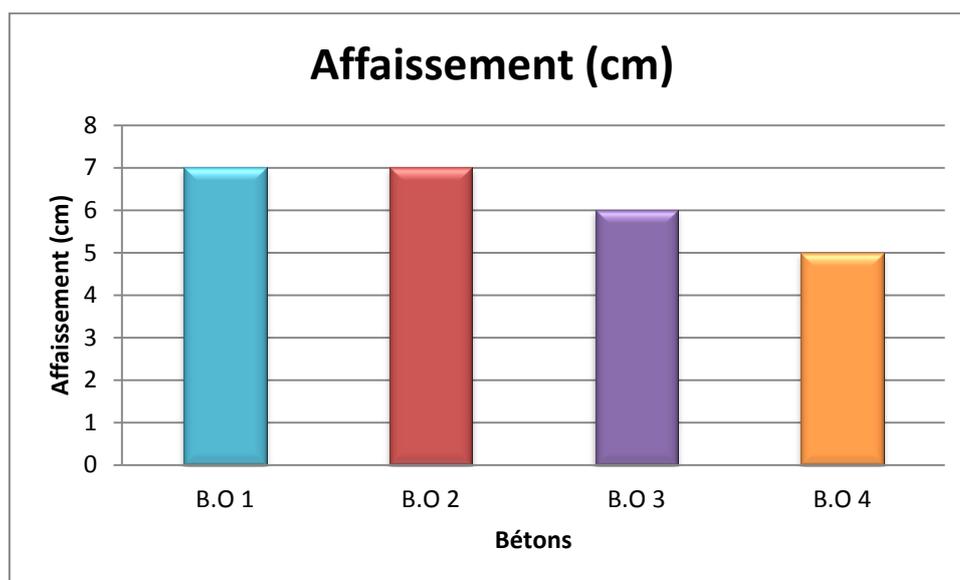


Figure IV.1 : Affaissement au cône d'Abrams.

CHAPITRE IV : Résultats & discussions

La plasticité d'un béton est une caractéristique très importante : les différentes compositions ont des plasticités différentes en étroite liaison avec la nature des composants spécialement les granulats

IV.2.2. Masse volumique des bétons à l'état frais et durci

Tableau IV.2 : Résultats des masses volumique à l'état frais et durci.

Type de béton	B.O 1	B.O 2	B.O 3	B.O 4
Masse volumique à l'état frais	2.44	2.47	2.48	2.50
Masse volumique à l'état durci	2.38	2.42	2.43	2.45

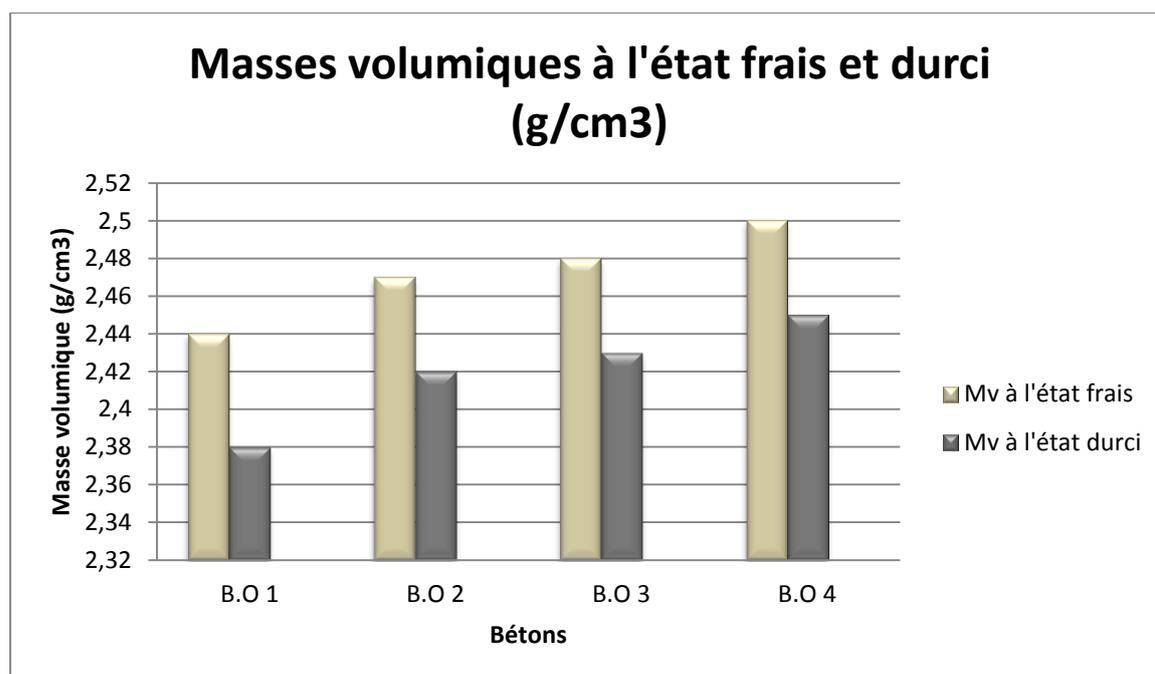


Figure IV.2 : Masse volumique à l'état frais et durci.

Les bétons préparés donnent des masses volumiques à l'état frais et durci différentes le béton B04 a des masses volumiques supérieures aux autres compositions

CHAPITRE IV : Résultats & discussions

IV.2.3. Caractérisations mécaniques des différentes compositions

Tableau IV.4 : Résultats d'écrasement du B.O 1.

Béton	N° épreuve	R _C (MPa)			R _{ff} (MPa)			R _{ffd} (MPa)		
		Ep (10*10*10) cm ³			Ep (7*7*28) cm ³			Ep (11*22) cm ³		
		07 J	14 J	28 J	07 J	14 J	28 J	07 J	14 J	28 J
B.O 1	1	28	32.14	37.51	2.87	3.80	6.69	2.10	2.39	2.62
	2	28.31	33.34	38.21	3.29	3.87	6.71	/	/	/
	3	27.17	36.81	38.01	3.24	3.89	7.9	/	/	/
	Moyenne	27.82	34.1	37.91	3.13	3.85	7.1	2.10	2.39	2.62

Tableau IV.5 : Résultats d'écrasement du B.O 2.

Béton	N° épreuve	R _C (MPa)			R _{ff} (MPa)			R _{ffd} (MPa)		
		Ep (10*10*10) cm ³			Ep (7*7*28) cm ³			Ep (11*22) cm ³		
		07 J	14 J	28 J	07 J	14 J	28 J	07 J	14 J	28 J
B.O 2	1	25.87	31.21	38.75	5.79	8.58	9.13	1.98	2.1	3.68
	2	25.53	30.62	36.85	5.23	7.59	8.06	/	/	/
	3	22.23	30.99	33.16	6.99	7.58	7.84	/	/	/
	Moyenne	24.54	30.94	36.25	6	7.92	8.35	1.98	2.1	3.68

Tableau IV.6 : Résultats d'écrasement du B.O 3.

Béton	N° épreuve	R _C (MPa)			R _{ff} (MPa)			R _{ffd} (MPa)		
		Ep (10*10*10) cm ³			Ep (7*7*28) cm ³			Ep (11*22) cm ³		
		21.82	33.08	37.94	3.95	4.45	5.12	1.65	3.71	4.8
B.O 3	1	21.62	33.35	36.35	4.95	4.87	5.14	/	/	/
	2	21.03	31.04	38.54	3.69	4.74	5.19	/	/	/
	3	21.45	32.49	37.61	4.19	4.69	5.15	1.65	3.71	4.8
	Moyenne	21.82	33.08	37.94	3.95	4.45	5.12	1.65	3.71	4.8

CHAPITRE IV : Résultats & discussions

Tableau IV.7: Résultats d'écrasement du B.O 4.

Béton	N° épreuve	R _C (MPa)			R _{tf} (MPa)			R _{ffd} (MPa)		
		Ep (10*10*10) cm ³			Ep (7*7*28) cm ³			Ep (11*22) cm ³		
B.O 4		27.27	30.82	37.85	6.85	8.14	9.15	3.12	3.66	3.96
	1	26.16	32.97	35.09	5.71	8.2	9.29	/	/	/
	2	27.37	32.27	37.95	5.86	8.25	9.37	/	/	/
	3	26.93	32.02	36.97	6.14	8.2	9.7	3.12	3.66	3.96
	Moyenne	27.27	30.82	37.85	6.85	8.14	9.15	3.12	3.66	3.96

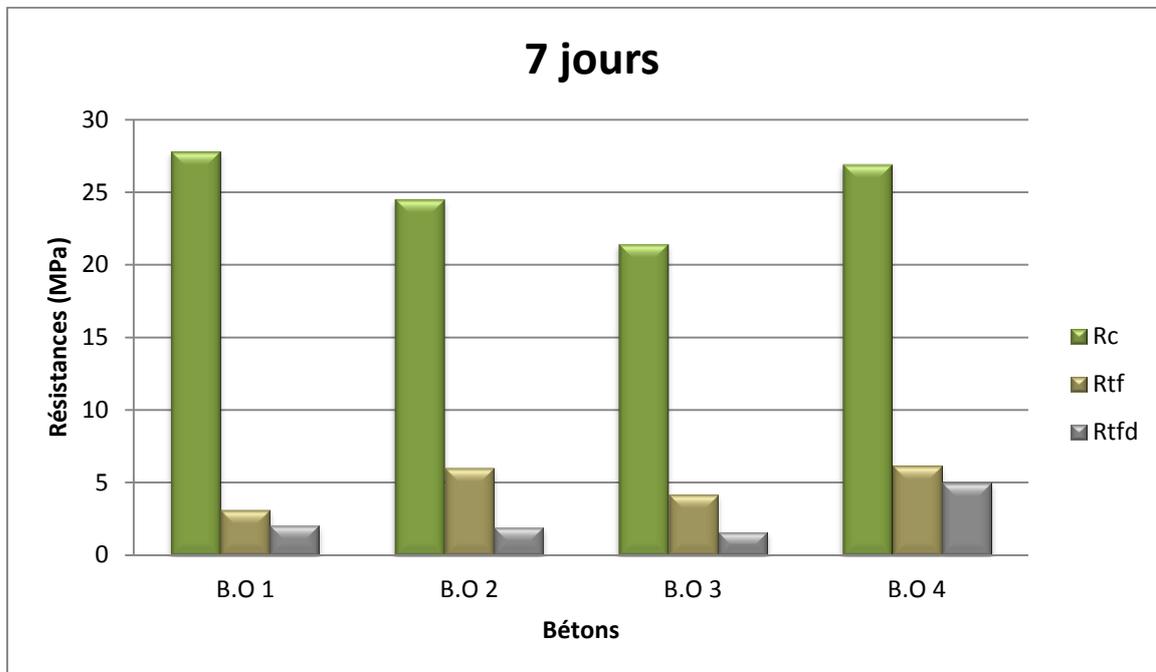


Figure IV.3 : Résultats des résistances à 7 jours.

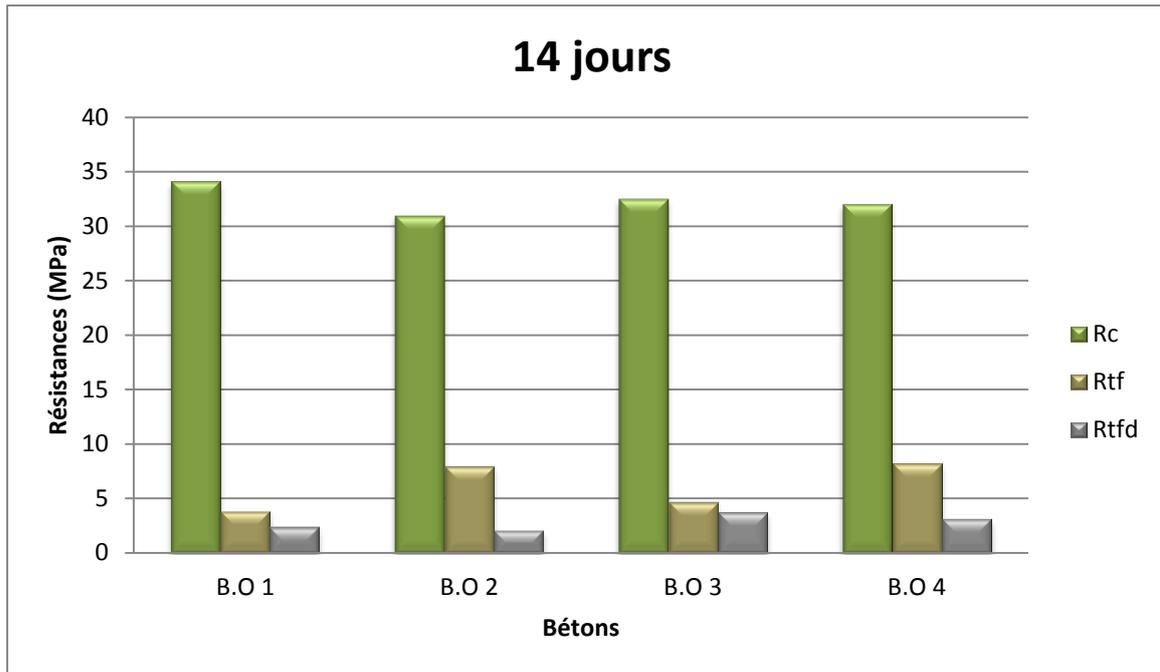


Figure IV.4 : Résultats des résistances à 14 jours.

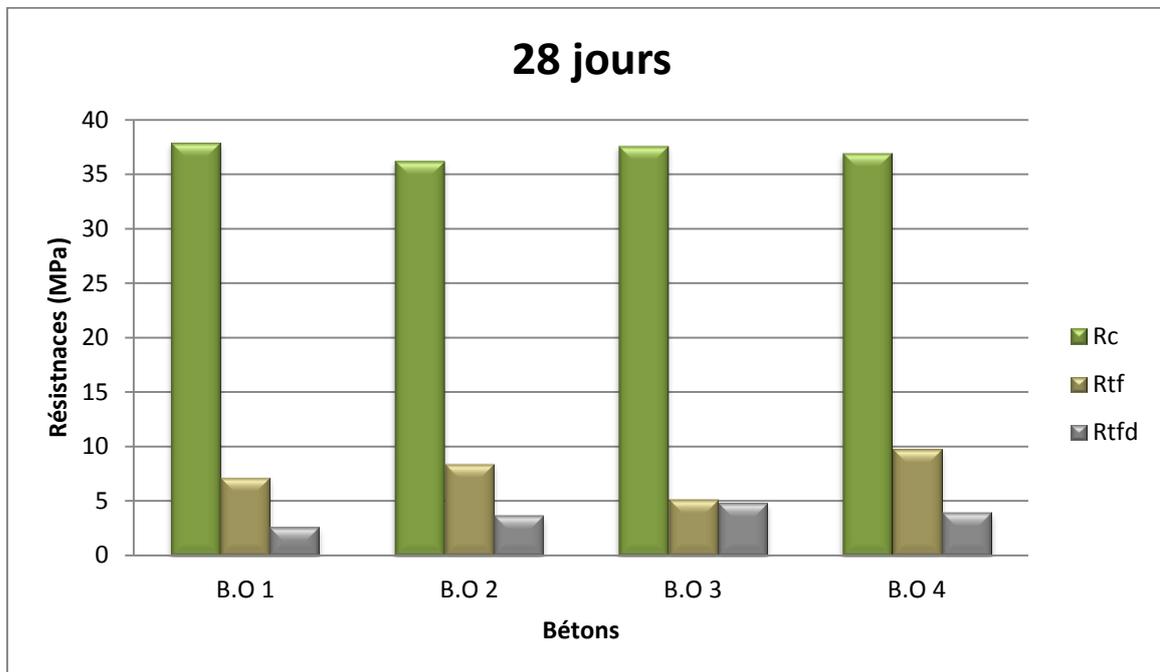


Figure IV.5 : Résultats des résistances à 28 jours.

D'après les figures (IV.3, IV.4 et IV.5), il est remarqué que la cinétique de durcissement est fortement influencée par le mode de conservation. En effet une

CHAPITRE IV : Résultats & discussions

conservation sous l'eau favorise l'hydratation du ciment contrairement à une conservation à l'air libre où l'apport en eau est limité à l'eau de gâchage.

On observe que les résistances obtenues pour les quatre mélanges sur les différentes échéances sont croissantes.

IV.2.4. Comparaison des résistances obtenues à 28 jours

IV.2.4.1. Résistances en compression

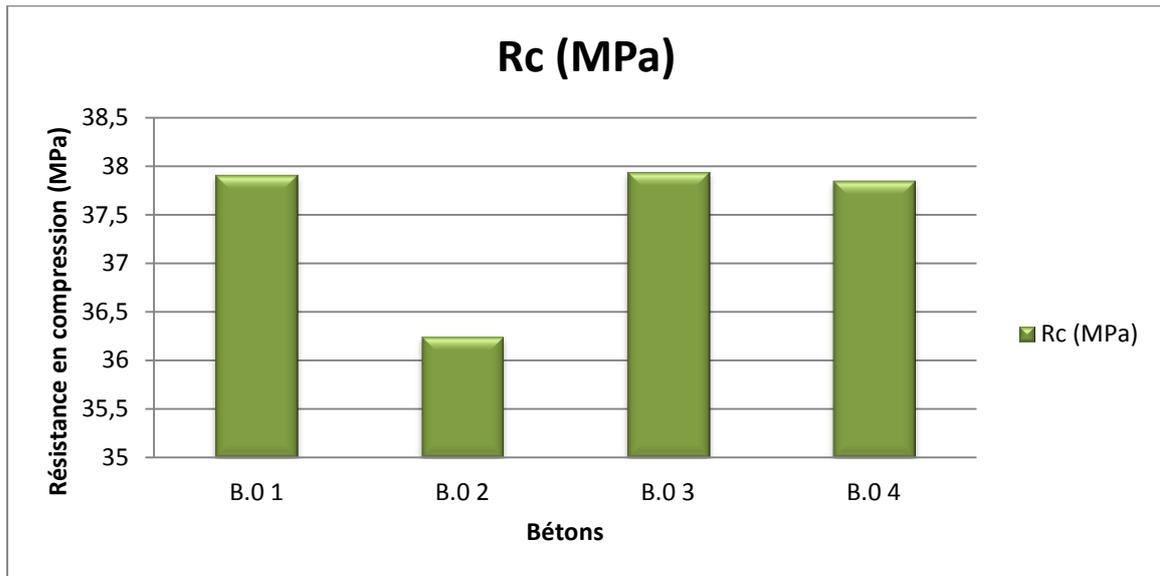


Figure IV.6 : comparaison des résistances de compression à 28 jours.

IV.2.4.2 Résistances en traction par flexion

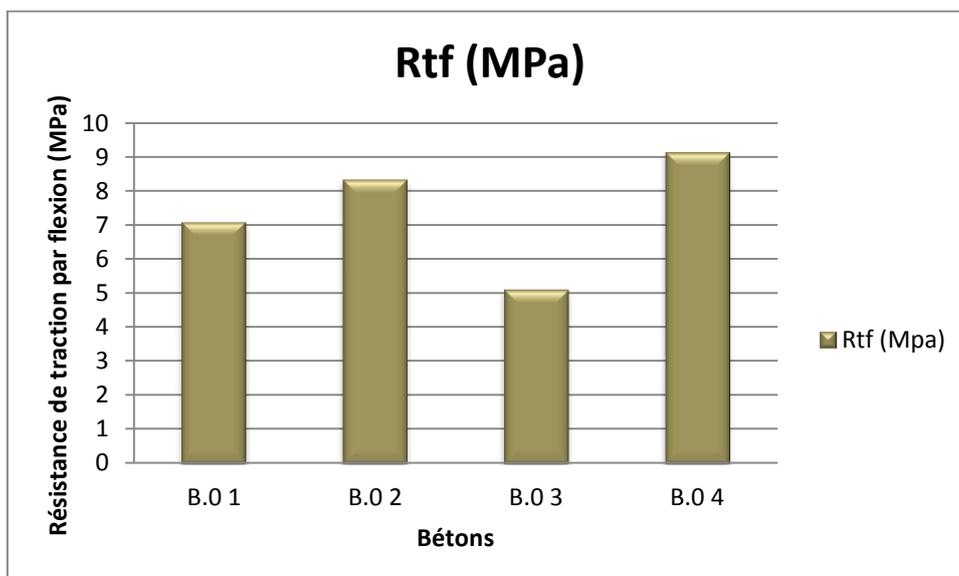


Figure IV.7 : comparaison des résistances en traction par flexion à 28 jours.

IV.2.4.3 Résistances en traction par fendage

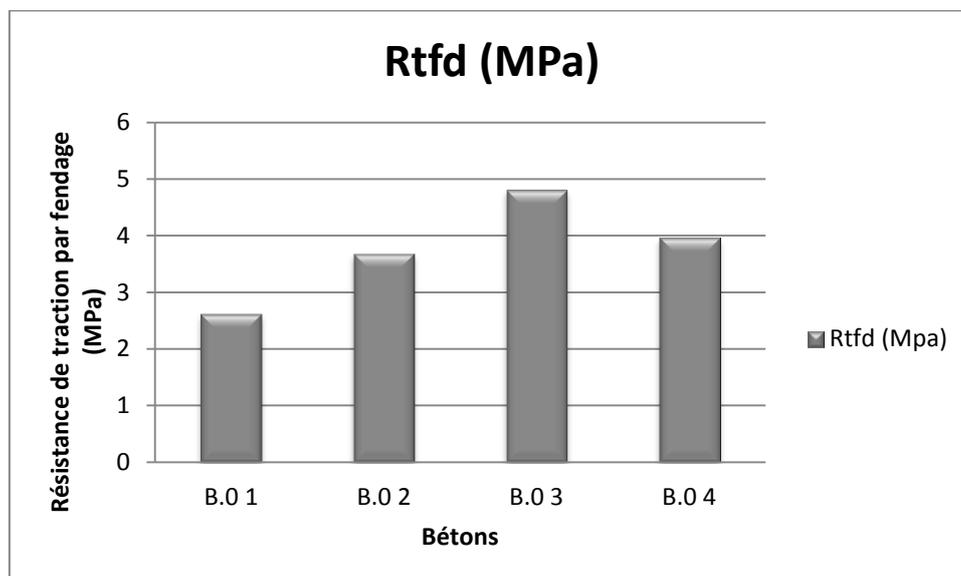


Figure IV.8 : comparaison des résistances en traction par fendage à 28 jours.

Les trois essais sont effectués sur des éprouvettes conservées sous l'eau, elles ont subi le même phénomène d'hydratation (dû à l'apport permanent en eau). Ce qui conduit à une meilleure résistance que la conservation à l'air libre.

IV.3. Taux d'absorption d'eau des bétons

Tableau IV.8 : Résultats d'absorption d'eau des bétons.

Caractéristique	Unité	BO1	B O2	BO3	BO4
L'absorption d'eau	%	5.84	7.07	6.83	6.75

Avec Le béton B.O 1 on obtient une absorption faible par rapport aux autres types de béton. Cette caractéristique est en relation étroite avec la compacité du béton.

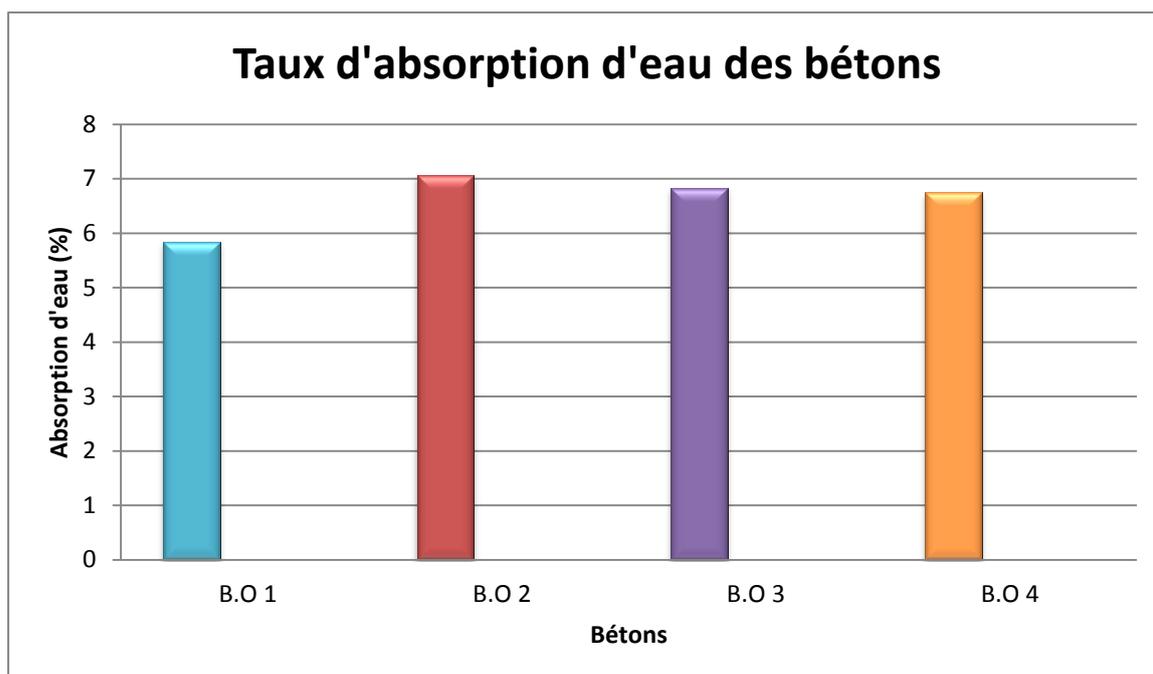


Figure IV.10 : Taux d'absorption d'eau des bétons

IV.4. Discussion des résultats

- A travers les résultats obtenus, on remarque une évolution normale des résistances à la compression et à la traction avec l'âge du béton.
- Ce constat est observé les quatre compositions étudiées.
- A 7 jours, les valeurs des résistances à la compression dépendent de la nature du sable, le sable de mer (S1) a donné une meilleure valeur (27,82 MPa), alors que le sable d'El-Kouif (S3) a donné la valeur la plus faible (21,45MPa).
- Ce changement dans les résistances à 7 jours dépend de la nature du sable sa propreté et surtout sa granulométrie.
- Le même constat a été fait à l'âge de 14 et 28 jours.
- Les résultats des essais de traction par flexion de toutes les compositions paraissent dans les limites conventionnelles.
- Le béton ordinaire avec le sable d'Azzaba (B.O 4) a donné une valeur supérieure (9,7 MPa) aux autres valeurs, quant aux résultats des essais de traction par fendage le béton ordinaire avec sable d'El-Kouif (S3) a donné une valeur de (4,8 MPa) à 28 jours.

CHAPITRE IV : Résultats & discussions

- La différence dans les résultats peut être influencée aussi par le mode de mise en œuvre du béton, les conditions de cure du béton et surtout le calibrage de la machine d'essai.

IV.5. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons observé et analysé les évolutions du comportement mécanique des bétons d'études ainsi la durabilité de ces bétons vis-à-vis à l'eau.

D'après les essais effectués, nous pouvons conclure que :

- Les contraintes de compression des quatre compositions sont très proches entre 36 et 37 MPa.
- Les valeurs de traction par flexion varient de 5,15 à 9,7 MPa, cette variation est presque égale au double, elle est influencée par la forme des grains de sable et leur propreté.
- Les valeurs de contraintes de traction par fendage quant à elles, elles varient de 2,39MPa (B.O1) à 4,8 MPa (B.O 3).
- On peut dire que les quatre sables étudiés peuvent être utilisés dans la confection des bétons.
- Cette étude nous a permis de caractériser les sables utilisés dans notre région pour la confection des bétons prêts à l'emploi.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

Le travail présenté dans ce mémoire s'inscrit dans la problématique générale du développement des propriétés du béton à l'état frais comme durci .

Dans cette recherche nous avons travaillé sur la caractérisation (physico-mécanique) du sable et son influence sur le comportement des bétons préparés et utilisés dans la région d'Annaba. Pour ce faire, nous avons procédé à la caractérisation des granulats entrant dans la composition des quatre formulations.

Nous avons obtenu des résultats pour les quatre sables utilisés : le module de finesse, l'équivalent de sable, la masse volumique apparente, la masse volumique absolue et la porosité. Nous avons effectué des essais sur béton frais (essai de l'affaissement au cône d'Abrams par exemple) et sur béton durci : la détermination des résistances à la compression sur différentes échéances de même pour les résistances à la traction par flexion ainsi que la traction par fendage, sur des éprouvettes conservées sous l'eau.

A partir de cette étude, et sur la base des résultats obtenus, nous pouvons conclure ce qui suit :

Après caractérisation des quatre sables nous avons constaté que le sable de mer a un plus faible module de finesse et le plus faible équivalent de sable par rapport aux autres sables étudiés.

Les résistances obtenues ont montré que le sable de mer a donné le meilleur résultat pour les essais de la résistance à la compression à 28 jours.

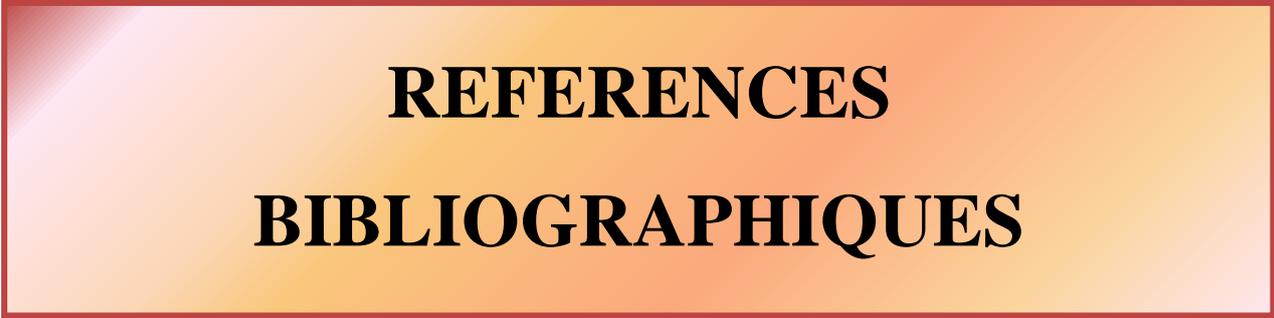
En ce qui concerne la résistance à la traction par flexion, le sable de la région de Azzaba a donné le meilleur résultat.

Pour la résistance à la traction par fendage, le sable de la région d'El-Kouif a donné un meilleur résultat.

Sachant que l'utilisation du sable de mer est interdite par la loi pour des raisons écologiques malgré ces caractéristiques, mais tout le monde sait que les entreprises l'utilisent pour la construction.

Perspectives

Etude de la durabilité du béton



REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Histoire du béton.**

www.wikipedia.org/wiki/Béton

- **Béton.**

fr.wikipedia.org/wiki/Béton

- **DR. ARABI**, Technologie du Béton, cours master 01, Université d'Annaba.

- **BUIL M., OLLIVIER J-P** (1993), « conception des bétons : structure poreuse », la durabilité des bétons. Presses de l'Ecole nationale des ponts et chaussées, p 106.

- **Formulation des bétons. Techniques de l'ingénieur**

www.techniques-ingenieur.fr

- **Gilles Chanvillard**. Concepts avancés de formulation des bétons basés sur la science des matériaux, Article de doctorat.

- **Lucien Pliskin**, le béton, Paris, Edition Dunod 1907.

- **CIM béton, Les bétons** : Formulation, Fabrication et mise en oeuvre, Tome 2, Fiche technique, janvier 2013.

- **Georges Dreux et Jean Festa** « Nouveau guide du béton » :, 7ème Edition, 1995

- **CIM béton**, Les constituants des bétons et des mortiers, Tome 1, Fiche technique

Références Bibliographiques

- **ciments et bétons** : l'essentiel B51, fiches technique, CIM béton.
- **Cours : Technologie des géomatériaux** par : Mr. Z. BENGHAZI.
- **A. M. NEVILLE**, Propriétés des bétons, Eyrolles, 2000.
- **BENAMRANE Dounia Zed** « L'effet de la méthode de formulation sur la résistance à la compression du béton » Mémoire de master - Université KASDI Merbah Ouargla 2017
- https://www.mtextur.com/system/product_lines/pdfs/000/000/292/original/mtextur_surfaces-exposees_holc_fr.pdf?1453848668
- http://www.cndp.fr/portails-disciplinaires/fileadmin/user_upload/Physique-chimie/PDF/exemple-activite_formulation_mortiers.pdf
- http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/32774/C%26T_1992_26_58.pdf?sequence=1