



Ministère de l'enseignement supérieur
et de la recherche scientifique
Université Mohamed Boudiaf - M'sila
Faculté de technologie



Département de GENIE CIVIL

MEMOIRE

*Présenté pour l'obtention du diplôme de
MASTER*

FILIERE : Génie Civil

SPECIALITE : Matériaux

THEME

**Béton avec des granulats céramique recyclés
(Recyclage des céramiques sanitaires par concassage)**

Dirigé par :

- Mr : baali laid
- Mr : M^{ed}. A chikouche

Présenté par :

- CHERFAOUI Saadi
- SAMARA anas issam fayiz

Promotion : 2016/2017

Remerciements

*Nous remercions en premier lieu notre Dieu
de Nous donner La santé et
la patience pour avoir Terminer ce travail.*

*Nous tenons évidemment à débiter ces
remerciements notre encadreurs Monsieur
baali laid et Monsieur M^{ed}. A chikouche qui
ont bien voulu nous encadrer et pour leur
conseils précieux, leur disponibilité et leur
patience.*

*Nous remercions également tous les membres
de jury d'avoir accepter de jugé.*

*Nous tenons également à remercier tous ceux
qui ont participé de près ou
de loin à l'élaboration de ce travail*

Dédicace

A MES CHERS PARENTS,

A TOUTE MA FAMILLE,

A MES AMIS,

Sommaire

I. INTRODUCTION GENERALE.....	1
II. PRESENTATION DE CANTONNAUX.....	2

CHAPITRE -I-

I.1 INTRODUCTION	3
I.2 DIFFERENTS TYPES DE GRANULATS.....	3
I.2.1 Granulats naturels	3
I.2.2 Granulats Artificiels.....	4
I.2.2.1 Sous-produits industriels.....	4
I.2.2.1.1 <i>Laitier</i>	4
I.2.2.1.2 Mâchefer	4
I.2.2.1.3 Granulats recyclés.....	4
I.2.2.2 Produits fabriqués	4
I.2.2.2.1 Argile expansée	5
I.3 PRINCIPALES RESSOURCES	5
1.3.1 Origine des roches.....	5
I.4 CONDITIONS REQUISES POUR L'UTILISATION DES GRANULATS EN CONSTRUCTION.....	7
I.5 ROLES DES GRANULATS DANS LE BETON.....	7
I.6 CRITÈRE DE CHOIX DES GRANULATS	8
Critère1: Adéquation granulats /Béton	8
Critère 2: Aptitude à l'emploi selon la roche d'origine	9
Critère 3: Selon l'emploi du Béton.....	9
I.7 Utilisation des granulats.....	10
I.8 CERAMIQUE.....	12
I.8.1 DÉCHETS DE CERAMIQUE.....	12
I.8.2 VALORISATION DES DECHETS DE CERAMIQUES	13
I.8.3 Conclusion.....	14

CHAPITRE -II-

II. 1 INTRODUCTION	15
II. 2 SABLE.....	15
II. 2. 1 SABLE DE RIVIÈRE (OUED MAITER)	15
II. 2. 1. 1 Origine du sable	15
II. 2. 1. 2 Exploitation du sable.....	15
II. 2. 1. 3 Aspect général	16
II. 2. 2 CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU SABLE UTILISENT	16
II. 2. 2. 1 Masse spécifique (absolue) : NF P 18-555.....	16
II. 2. 2. 2 Masse volumique apparente : NF P 18-554	17
II. 2. 2. 2. 1 Masse volumique apparente à l'état lâche	17

II. 2. 2. 3 Compacité.....	18
II. 2. 2. 4 Porosité : NF P 18-554.....	19
II. 2. 2. 5 Equivalent de sable : NF P 18-598	19
II. 2. 2. 6 Teneur en eau : NF P 18-555.....	21
II. 2. 2. 7 Degré d'absorption d'eau : NF P 18-555	22
II. 2. 2. 8 Analyse granulométrique : NF P 18-304. NF P 18-560.....	23
II. 2. 2. 9 Module de finesse	25
II. 2. 3 Caractéristiques chimique du sable	26
II. 3 GRAVIER	26
II. 3. 1 ORIGINE DU GRAVIER DE COSIDER.....	26
II. 3. 1. 1 Classes granulaires.....	27
II. 3. 1. 2 Résistance à la compression de la roche d'origine	27
II. 3. 2 CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU GRAVIER UTILISE	27
II. 3. 2. 1 Masse volumique apparente	27
II. 3. 2. 2 Porosité et compacité : NF P 18-554	28
II. 3. 2. 3 Masse volumique absolue	29
II. 3. 2. 4 Analyse granulométrique	29
II. 3. 2. 5 Degré d'absorption d'eau : NF P 18-554	30
II. 3. 3 CARACTERISTIQUES MECANIQUES DES GRAVIERS UTILISES	31
II. 3. 3. 1 Essai de résistance au choc (Essai Los Angeles) : NF P18-573.....	31
II. 3. 3. 2 Essai de résistance à l'usure (Essai MD) : NF P18-572	31
II. 3. 4 CARACTERISTIQUES CHIMIQUES DES GRAVIERS UTILISES	32
II. 4 CIMENT	32
II. 4. 1 CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU CIMENT UTILISE.....	32
II. 4. 2 CARACTERISTIQUES CHIMIQUES DU CIMENT UTILISE	33
II. 5 L'EAU DE GACHAGE	33
II. 5. 1 Caractéristiques chimiques de l'eau utilisée	33
II.6 DECHETS DE CERAMIQUE UTILISE.....	34
II. 6.1 Classe granulaire	34
II.6.2 CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU GRAVIER CERAMIQUE RECYCLEE UTILISE	34
II. 6.2.1 Masse volumique apparente	34
II. 6.2.2 Porosité et compacité	34
II. 6. 2. 3 Masse volumique absolue	34
II. 6. 2. 4 Analyse granulométrique	34
II.6.3 CARACTERISTIQUES MECANIQUES	35

CHAPITRE –III–

III. 1 INTRODICTION.....	36
III. 2 EXPERIMENTATION	36
III. 2. 1 DETERMINATION DE LA COMPOSITION DU BETON	36
III. 2. 1. 1 Exposé de la méthode de Dreux – Gorisse	37
III.2.1.1.1 Données de base.....	37
III.2.1.1.1.1 Nature de l'ouvrage	37
III.2.1.1.1.2 Résistance souhaitée.....	37
III.2.1.1.1.3 Consistance désirée	37

III.2.1.1.2 Dimension maximale des granulats.....	38
III.2.1.1.3 Dosage en ciment	39
III.2.1.1.4 Dosage en eau	41
III.2.1.1.5 Choix du dosage en granulats	43
III. 2. 1. 2 Détermination pratique de la composition du béton utilisé	44
III. 2. 1. 2 .1 Détermination de la résistance moyenne à viser	44
III. 2. 1. 2 .2 Détermination du rapport C/E.....	44
III. 2. 1. 2 .3 Détermination du dosage en ciment	45
III.2. 1. 2. 4 Détermination du dosage en eau.....	45
III. 2. 1. 2 .5 Traçage de la courbe granulométrique de référence En abscisse....	45
III. 2. 1. 2. 6 Détermination des pourcentages des granulats	45
III. 2. 1. 2 7. Détermination du coefficient de compacité \mathcal{V}	45
III. 2. 1. 2. 8 Détermination des quantités nécessaires en ciment, en eau, en sable et gravillon (secs) pour réaliser 1 m ³ de béton.....	46
III. 2. 1. 2. 9 Densité théorique.....	46
III. 2. 1. 2. 10 Détermination des quantités des divers matériaux (+15% de pertes) pour la fabrication de 9 éprouvettes cylindriques 16 × 32, 9 éprouvettes prismatiques 07 × 07 × 28 cm et 9 éprouvettes cubiques 15x15x15 cm	46
III 2. 2 PREPARATION DU BETON.....	46
III. 2. 3 LA CONFECTION DES EPROUVETTES	47
III. 2. 4 CONTROLE DU BETON A L'ETAT FRAIS	48
III. 2. 5 MISE EN PLACE DU BETON ET CONSERVATION : [18]	49
III. 2. 6 ESSAIS SUR LE BETON DURCI.....	50
III. 3 DESCRIPTION GENERALE DES APPAREILS UTILISES.....	50
III. 3. 1 Scléromètre	50
III. 3. 1. 1 principe de fonctionnement.....	50
III. 3.1. 2 contrôles de la justesse de fonctionnement du scléromètre [21]	51
III. 3. 2 Ultrason	51
III. 3. 2. 1 principe de fonctionnement.....	51
III. 3. 2. 2 Contrôle de la calibration.....	52
III.4 PROCEDURE DES ESSAIS	52
III.4.1 Scléromètre.....	52
III .4. 1. 1 Choix des zones et points d'essai	52
III .4 . 1. 2 préparations des zones d'essais	53
III. 4. 1. 3 Modalités des essais.....	53
III. 4. 2 ULTRASON	53
III. 4. 2. 1. Type de mesure (mesure en transparence)	53
III. 4. 2. 2 Nombre nécessaire de points d'essai	54
III. 4. 2. 3 Choix des zones de points d'essais	54
III. 4. 2. 4 Préparation de la surface des points d'essai	54
III.4. 3 Résistance de compression	55
III.4. 4 Essai de Brésilien.....	55
III.4. 4 Essai de traction par flexion	55

CHAPITRE –IV–

IV.1 INTRODUCTION.....	57
IV.2 DENOMINATION DES BETONS	57
IV.3 LES ESSAIS DESTRUCTIFS	57
IV.3.1 La résistance mécanique	57
IV.3.2 La résistance mécanique à la traction par flexion.....	61
IV.3.3 Résistance par fendage	63
IV.4 LES ESSAIS NON DESTRUCTIFS	65
a. Essai sclérométrique.....	65
b. Essai ultrasonique	65
IV.5 MASSES VOLUMIQUES	67
IV.6 ANALYSES AUX RAYONS X	69
IV.7 CONCLUSION GENERALE	71

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.1 : Masse spécifique du sable.....	17
Tableau II.2 : Masse volumique apparente du sable à l'état lâche	18
Tableau II.3 : Compacité du sable.....	18
Tableau II.4 : Equivalent de sable	21
Tableau II.5 : Comparaison des résultats	21
Tableau II.6 : Teneur en eau du sable	22
Tableau II.7 : Degré d'absorption du sable	22
Tableau II.8 : Analyse granulométrique de la sable rivière (Oued Maiter)	24
Tableau II.9 : Analyse chimique du sable de Boussaâda	26
Tableau II.10 : Masse volumique apparente du gravier	28
Tableau II.11 : Porosité, Compacité Et Indice Des Vides.....	28
Tableau II.12 : Masse volumique absolue du gravier	29
Tableau II.13 : Analyse granulométrique du gravier 3/8	29
Tableau II.14 : Analyse granulométrique du gravier 8/16	30
Tableau II.15 : Analyse granulométrique du gravier 16/25	30
Tableau II.16 : Degré d'absorption d'eau du gravier	30
Tableau II.17 : Teneur en eau du gravier.....	31
Tableau II.18 : Caractéristiques mécaniques du gravier utilisé.....	31
Tableau II.19 : analyse chimique de la pierre concassée	32
Tableau II.20 : Caractéristiques physiques de ciment.....	32
Tableau II.21 : Caractéristiques Chimiques du Ciment	33
Tableau II.22 : Caractéristiques chimiques d'eau.....	33
Tableau II.23 : Masse volumique apparente du gravier de déchets de céramique.....	34
Tableau II.24 : Porosité, Compacité Et Indice Des Vides.....	34

Tableau II.25 : Masse volumique absolue du gravier de déchets de céramique	34
Tableau II .26 : Analyse granulométrique du gravier de déchets de céramique 8/16.....	35
Tableau II.27 : Caractéristiques mécaniques du gravier utilisé.....	35
Tableau III.1 : Évaluation de l'ouvrabilité par référence à l'affaissement au cône ou au test d'ouvrabilité C.E.S	38
Tableau III.2 : Évaluation approximative de D dimension maximale (Tamis) des granulats, en fonction des caractéristiques de la pièce à bétonner et de l'ambiance plus ou moins agressive	39
Tableau III.3 : les dosages auxquels conduisent l'application des formules précédentes ainsi que les valeurs de $\sqrt[3]{D}$ en fonction de D	40
Tableau III.4 : valeurs approximatives du coefficient granulaire G. ces valeurs supposent que le serrage du béton sera effectué dans de bonnes conditions (par vibration en principe)	41
Tableau III.5 : <i>La valeur du terme correcteur K en fonction du dosage en ciment</i>	43
Tableau III.6 : Appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au Cône.....	49
Tableau IV.1 : Dénomination des bétons	57
Tableau IV.2 : Résultats d'essais de la résistance à la compression (MPa) en fonction de la teneur en gravier artificiel (8/15)	57
Tableau IV.3 : Analyse chimique des bétons formulés.....	60
Tableau IV.4 : Analyse minéralogique des bétons formulés	60
Tableau IV.5 : Résultats d'essais de la résistance à la traction par flexion (MPa) en fonction de la teneur en gravier artificiel (8/15)	61
Tableau IV.6 : Résultats d'essais de la résistance par fendage (MPa) en fonction de la teneur en gravier artificiel (8/15)	63
Tableau IV.7 : Résultats d'essais de la résistance combiné)	65
Tableau IV.8 : La masse volumique des bétons à l'état durci (g/m^3)	67

Liste des Figure

Figure I.1: Coupe classique des cinquante premiers mètres de l'écorce terrestre	6
Figure I.2: Fuseaux et courbes de Talbot.....	10
Figure I.3: Compressive Strength development	13
Figure I.4: Compressive Strength development for ceramic coarse aggregate (CCA) replacements	13
Figure II.: Les Tamis	23
Figure II.2: Analyse granulométrique du sable.....	25
Figure II.3: Analyse granulométrique des graviers	35
Figure III.1: Abaque permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport C/E et de l'ouvrabilité désirée (affaissement au cône)	41
Figure III.2 : Variations relatives moyennes du dosage en eau E et du nombre de chocs du test d'ouvrabilité C.E.S, en fonction de l'affaissement, dans le cas des bétons composés suivant la présente méthode (le dosage en sable augmentant quand le dosage en ciment diminue)	42
Figure III.3 : Variation de la correction à apporter au dosage en eau Si la dimension maximale des granulats est différente de 25 mm.....	42
Figure III.4 : Essai au cône d'Abrams.....	48
Figure III.5 : Essai de scléromètre.....	50
Figure III.6 : Ultrasonique tester E 46.....	51
Figure III.7 : Grille de mesure sur ouvrage	52
Figure III.8 : Préparation de la surface de l'essai.....	53
Figure III.9 : Mesures en transparence	53
Figure III.10 : Essai ultrasonique	54
Figure III.11 : Machine de compression.....	55
Figure III.12 : Essai de Brésilien.....	55

Figure III.13 : Essai de traction par flexion.....	56
Figure IV.1 : Evolution de la résistance mécanique à la compression (MPa) en fonction de l'âge.....	58
Figure IV.2 : La comparaison entre les différents bétons au même âge (Paramètre : Résistance mécanique à la compression)	58
Figure IV.3 : Evolution de la résistance mécanique à la traction par flexion (MPa).....	61
Figure IV.4 : La comparaison entre les différents bétons au même âge (Paramètre : Résistance mécanique à la traction par flexion)	62
Figure IV.5 : Evolution de la résistance mécanique en traction par fendage (MPa) en fonction de l'âge)	63
Figure IV.6 : La comparaison entre les différents bétons au même âge (Paramètre : Résistance mécanique en traction par fendage)	64
Figure IV.7 : La comparaison entre les différents bétons au même âge (Paramètre : Résistance combinée)	66
Figure IV.8 : La comparaison entre les différents bétons au même âge (Paramètre : Masse volumique)	67
Figure IV.9 : Diagramme de diffraction X- B50.....	69
Figure IV.10 : Diagramme de diffraction X- B100.....	69

RESUME

Le présent travail a pour but de contribuer à la valorisation des graviers artificiels (déchets de céramique) par leurs incorporations dans une matrice cimentaire (béton), pour l'élaboration d'un composite à base de particules des déchets de céramique. Dans cette étude, on s'intéresse au comportement d'un béton dans lequel le gravier concassé (8/15) a été substitué par les déchets de céramique à des teneurs pondérales de 0, 10,20, 30,50 et 100%.

Dans un premier temps, nous avons évalué l'effet des particules de déchets sur les propriétés Physico-chimique des graviers préparés tels que : la masse volumique (apparente et absolue), la porosité, le degré d'absorption,etc.

Dans un deuxième temps, nous nous sommes intéressés au comportement mécanique du composite, en évaluant la résistance mécanique à la compression, à la traction par flexion ainsi que la propriété physique à l'état durci (masse volumique).

Ces propriétés sont des paramètres essentiels qui conditionnent la durabilité des matériaux de construction, notamment leur résistance à la compression.

Enfin, nous pouvons dire, que ce travail est une contribution à l'amélioration des propriétés des bétons préparés à base de gravier artificiels d'une part et la possibilité de récupération des déchets industriels ou des déchets de chantier du bâtiment pour la confection d'un béton à base des granulats artificiels d'autre part.

Abstract

This work is designed to contribute to the development of artificial gravel (ceramic waste) by incorporating it into a concrete matrix for the preparation of waste based composite ceramics. In this study, we are interested in concrete behavior where the crushed gravel was replaced (8/15) for waste of ceramic weight contents (0, 10, 20, 30, 50 and 100)%.

First, we assessed the effect of waste particles on the physical, chemical and gravel properties prepared as follows: density (clear and absolute), porosity, absorption degree, etc.

In the second step, we studied the mechanical behavior of the compound, by assessing the mechanical resistance of the pressure, tensile and bending as well as material properties in the saline state (Density).

These properties are the basic criteria that determine the durability of building materials, including their compressive strength.

Finally, we can say that this work is to contribute to the improvement of concrete properties of artificial gravel base prepared by hand and the possibility of recovering industrial waste and construction waste from the building to make a concrete base of other industrial aggregates.

المخلص

تم تصميم هذا العمل للمساهمة في تطوير عمل الحصى الاصطناعي (النفائيات السيراميك) من خلال إدماجها في المصفوفة الأسمنتية (الخليط) لإعداد الجسيمات القائم على السيراميك المركب.

في هذه الدراسة، نحن مهتمون في سلوك الخليط حيث يتم التلاعب بمكوناته من حصى السحق (15/8) عن طريق وزن نفائيات السيراميك فيه (0، 20، 10، 50، 30 و 100) %.

أولا : قمنا بتقييم تأثير الجسيمات النفائيات على الخصائص الفيزيائية والكيميائية والحصى أعدت على النحو التالي : كثافة ومطلقة، المسامية ، ودرجة الاستيعاب، ... الخ.

في الخطوة الثانية : قمنا بدراسة السلوك الميكانيكي للمركب، من خلال تقييم المقاومة الميكانيكية للضغط ، والشد والانحناء وكذلك المحتويات الملحية فيه (الكتلة الحجمية).

هذه الخصائص هي المعايير الأساسية التي تحدد متانة مواد البناء، بما في ذلك قوة الضغط.

وأخيرا، يمكننا ان نقول ان هذا العمل هو المساهمة في تحسين خواص الخرسانة قاعدة الحصى الاصطناعية أعدت من جهة وإمكانية استرجاع النفائيات الصناعية ومخلفات البناء من المبنى لصنع قاعدة الخليط من المجاميع الصناعية الأخرى.

I. INTRODUCTION GENERALE :

Actuellement, le secteur de la construction, est recherché de matériaux à moindres coûts et plus résistant. Parmi ces matériaux, les granulats car le prix d'achat double tous les 50 kilomètres [25]. Ainsi le secteur de la construction est le plus grand consommateur de granulats naturels, ce qui exprime le besoin de matériaux nouveaux présentant des propriétés particulières ou améliorées, par rapport aux matériaux classiques. Ce secteur utilise, depuis plusieurs années, des sous-produits et des déchets provenant de différentes sources. Par conséquent, une grande importance a été accordée à l'usage de différents déchets inertes et de sous-produits comme granulats pour la fabrication du béton [26].

De nouveaux types de bétons, dits bétons légers, ont ainsi été développés. De tels bétons peuvent être obtenus par l'incorporation de granulats légers « bétons de granulats légers », ou par création d'une structure cellulaire dans la matrice «bétons cellulaires». Le choix de l'association matrice cimentaire/granulats légers dépend des propriétés souhaitées et correspond, très souvent, à un compromis entre les caractéristiques des matériaux, dans l'objectif d'une fonctionnalisation. De plus, la recherche de moyens permettant d'améliorer la durabilité des matériaux de construction est d'actualité sachant, qu'en service, ces derniers sont soumis à des sollicitations mécaniques, hydriques, physiques et chimiques, qui provoquent à long terme des dégradations plus au moins importantes. Ainsi, l'étude de la durabilité se révèle être un aspect fondamental à la survie de ces matériaux, en termes de durée de vie et de résistance aux agents agressifs. Ces derniers peuvent être fixés physiquement ou chimiquement ou tout simplement migrer par capillarité, pour entraîner des dégradations dans les matériaux.

L'emploi des déchets dans le secteur du bâtiment, répond simultanément au souci d'économie des ressources naturelles en granulats ainsi qu'à l'obligation de limiter la mise en décharge aux seuls déchets ultimes. Parmi ces déchets, on distingue les déchets des usines de fabrication des matériaux de construction, qui représentent un gisement valorisable important tant en volume qu'en masse. Aujourd'hui, une grande partie de ces déchets, notamment les déchets de céramique hors d'usage, s'accumulent constituant ainsi une source potentielle de problèmes environnementaux et économiques majeurs. Afin de mieux préserver l'environnement et face aux évolutions de la législation en vigueur, plusieurs actions de valorisation ont été menées, notamment dans le secteur des constructions. A ce sujet, plusieurs travaux concernant l'emploi de granulats de céramique comme gravier, en substitution aux granulats minéraux, ont été réalisés. D'autres travaux concernant l'incorporation de ces déchets de différentes natures et à différentes granulométries, ont été effectués au laboratoire. Ces derniers ont montré l'intérêt de l'association ciment/déchets dans l'élaboration de composites à haute déformabilité. C'est dans ce contexte que s'inscrit cette étude.

II. PRESENTATION DU CONTENU DE CETTE ETUDE :

Ce présent mémoire sera composé de quatre chapitres :

- a) **Le premier chapitre :** de ce travail est destiné à l'étude bibliographique. Dans cette partie, nous avons extrait les principales informations contenues dans certains ouvrages et articles, afin d'obtenir une synthèse, rassemblant et comparant les éléments utiles, pour obtenir de meilleures performances à l'utilisation des déchets de céramique dans le béton. Dans ce chapitre, nous avons présenté également quelques travaux effectués par différents auteurs.
- b) **Le deuxième chapitre :** consiste à l'étude des différentes caractéristiques des matériaux utilisés dans l'expérimentation.
- c) **Le troisième chapitre :** est consacré à la technique expérimentale. Nous présentons dans cette partie les essais expérimentaux effectués sur les composites élaborés.
- d) **Le quatrième chapitre :** présent les résultats expérimentaux obtenus et les discussions tirées lors de cette étude.

Enfin, une conclusion générale reprend les principaux résultats dégagés lors de cette étude. Elle ouvre également de nouvelles perspectives en termes d'expérimentation pour une meilleure compréhension du phénomène d'interaction entre les ciments et les déchets ultimes.

Chapitre I

I.1 INTRODUCTION :

Les granulats utilisés dans les travaux de génie civil doivent répondre à des impératifs de qualité et des caractéristiques propres à chaque usage. Les granulats constituent le squelette du béton et ils représentent, dans les cas usuels, environ 80 % [05] du poids total du béton. Pour cette raison, plusieurs recherches ont été réalisées, en vue d'éclaircir ou de résoudre les problèmes rencontrés pour l'utilisation des déchets dans les bétons. Donc, nous avons extrait dans ce chapitre les principales informations contenues dans certains ouvrages et articles, afin d'obtenir une synthèse, en rassemblant et comparant les éléments utiles, pour obtenir de meilleures performances à l'utilisation des déchets de céramique (sanitaires) dans le béton. Cependant, en précisant les axes de ce travail, qui seront traités en détail par la suite.

I.2 DIFFERENTS TYPES DE GRANULATS :

Ce paragraphe est consacré à la description des différents types de granulats menés par différents auteurs de la littérature sur les différentes propriétés, les compositions minéralogiques et les procédés de fabrications.

Nous pouvons distinguer les granulats selon, leur origine : naturelle ou artificielle. Donc, les granulats sont dits « naturels » lorsqu'ils sont prélevés dans le milieu naturel : les roches utilisées (quartz, basalte, roches sédimentaires,...) proviennent des lits de rivière (granulats roulés) ou des carrières (granulats concassés). A cela s'ajoutent les granulats « artificiels » issus de l'industrie sidérurgique (mâchefer, laitier, granulats recyclés) ou bien encore fabriqués, comme l'argile expansée [01] [02].

I.2.1 Granulats naturels :

Ce sont des granulats utilisés tels quels sans aucun traitement mécanique ou autre. Ce sont essentiellement :

a) Les sables de mer :

On les extrait par dragage des bancs reconnus valables, c'est-à-dire dépourvus de coquillages et de vase, et pas trop fins. Très purs, ils sont parmi les meilleurs sables après lavage, ils sont cependant à éviter avec certains liants comme le ciment alumineux par exemple.

b) Les granulats de rivière :

Leur extraction s'opère soit par dragage du lit des cours d'eau aux endroits donnant des matériaux siliceux propres et durs, soit par pompage (suceuse) d'anciens lits noyés dans la nappe phréatique, après enlèvement de la découverte soit à la pelle mécanique pour des lits secs à certaines époques de l'année.

c) Les granulats de carrières à ciel ouvert :

Il s'agit de granulats issus de couches sédimentaires déposées par d'anciennes rivières ou par la mer : leur extraction se fait à la pelle mécanique, après ou non abattage à l'explosif. Ils sont souvent terreux, argileux, et nécessitant un lavage poussé avant leur utilisation.

I.2.2 Granulats Artificiels :

Les granulats artificiels sont soit des sous-produits de l'industrie sidérurgique, soit fabriqués en vue d'obtenir un produit particulier.

I.2.2.1 Sous-produits industriels :**I.2.2.1.1 Laitier :**

Il provient des hauts-fourneaux. Il constitue les impuretés surnageant à la surface de la fonte en fusion recueillie en bas de ces appareils.

I.2.2.1.2 Mâchefer :

Il est constitué par les cendres fondues extraites des fourneaux industriels alimentés au charbon. L'usage de plus en plus réduit de ce dernier en fait un produit en voie de disparition.

I.2.2.1.3 Granulats recyclés :

Ces granulats sont produits suite au recyclage des gravats, des matériaux de démolition de constructions et de revêtements de chaussées (bétons, briques, asphaltes). Les concassés qui résultent de ce traitement, ont différentes applications en construction routière, bétons maigres et sables stabilisés [02]. Les débris des usines de fabrication des matériaux comme les briqueteries « brique concassée » [03]. Qui seront utilisés comme sable de brique dans la matrice cimentaire (béton ou mortier) [04].

I.2.2.2 Produits fabriqués :

Leur coût plus élevé est compensé par les avantages que procurent leur légèreté et leur caractère isolant.

I.2.2.2.1 Argile expansée :

Elle est obtenue par cuisson, au four tunnel rotatif légèrement incliné ou dans une série de fours rotatifs, d'une argile exempte de sable, préalablement humidifiée et broyée [02].

Il nous est apparu intéressant de chercher sur cette base des données bibliographique et affiner notre compréhension du comportement mécanique des composites préparés à base de sable de ravière et des déchets de céramique qui seront utilisés dans notre travail expérimental. Pour cette raison, on se base dans la suite sur les informations concernant le sable Natural et les déchets de céramique.

I.3 PRINCIPALES RESSOURCES :

1.3.1 Origine des roches :

L'homme exerce ses activités sur la partie solide la plus superficielle de l'écorce terrestre. mis à part les rares surfaces où la roche saine affleure, il rencontre toujours dans la nature la même succession verticale : terre arable en surface, sur une profondeur de 0 à 1 m, zone altérée meuble en dessous, de 0 à 30 m, et roches saines en profondeur qui peuvent être meubles (argiles, sables, etc.) ou massives (calcaires, granites, etc.). Cette distinction entre roches meubles et massives est importante sur le plan technologique, mais elle ne coïncide pas avec leur genèse.

À l'origine du globe terrestre, qui se chiffre en milliards d'années, il s'est formé, par refroidissement en surface du magma en fusion, des silico-aluminates de potassium, sodium, calcium, magnésium et fer (pour ne citer que les principaux). Coordonnés par l'oxygène, qui représente en volume 98 % de cette matière, ces éléments s'associent pour constituer les minéraux. Selon la composition chimique des magmas d'origine, il s'est formé des associations minéralogiques différentes, que l'on appelle roches magmatiques, et qui peuvent être schématisées par les deux extrêmes que sont les granites riches en silice, K et Na, et les gabbros, plus pauvres en silice et plus riches en Ca, Fe et Mg. en général, ces roches sont massives, sauf le cas de certaines projections volcaniques (cendres, pouzzolanes, etc.) qui sont parfois meubles.

L'apparition de l'eau et d'événements climatiques semblables à ceux qui désagrègent, transport et dépôt (ou sédimentation) dans les lits des rivières, les lacs, les mers de sables, graviers, argiles, vases et boues riches en calcium.

D'autres minéraux se forment dans ces nouvelles conditions : argiles, carbonates comme la calcite ou la dolomite, etc.

Le développement de la vie végétale (1 milliard d'années ?) introduit la sédimentation d'un élément nouveau, le carbone, qui est à l'origine des charbons et pétroles. Ces roches sédimentaires meubles peuvent se consolider par précipitation chimique de la silice et du calcium, et parfois du magnésium dissous, et donner les grès, calcaires, dolomies, etc.

La transformation de ces roches magmatiques et sédimentaires sous l'action de contraintes σ et de températures θ élevées conduit aux roches métamorphiques. Elles sont caractérisées par un feuilletage ou une schistosité dus aux contraintes orientées (schistes, ardoises, etc.) et par une recristallisation due à ces deux facteurs (σ , θ) (micaschistes, gneiss). Il peut y avoir schistosité sans recristallisation, comme pour les ardoises, ou recristallisation sans feuilletage (cornéennes) (Figure I.1).

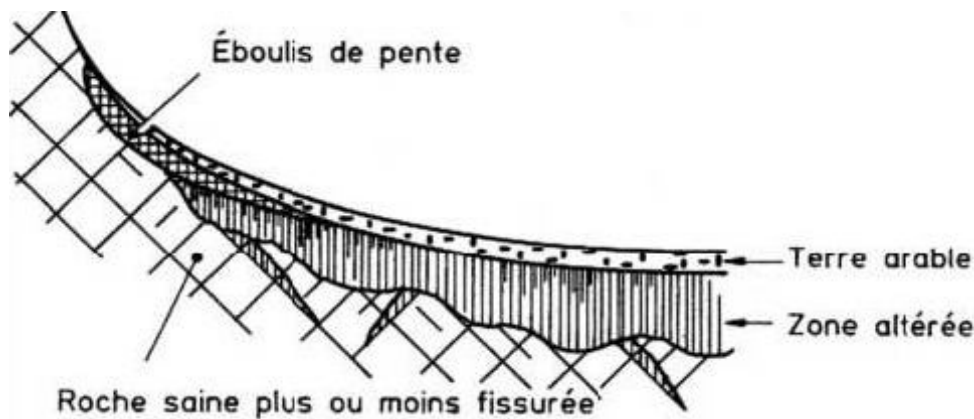


Figure I.1 : Coupe classique des cinquante premiers mètres de l'écorce terrestre [22]

La notion d'intermédiaire est omniprésente en géologie :

- entre les compositions chimiques extrêmes des magmas, tous les termes de passage existent, conduisant à des compositions minéralogiques variées :

Granites → granodiorites → diorites → gabbro diorites → gabbro

- entre les modes de dépôts, d'alimentation et de cimentation des roches sédimentaires, tous les intermédiaires existent :

- Calcaires → calcaires dolomitiques → dolomies
- Calcaires → calcaires gréseux → grès → quartzites
- Calcaires → calcaires argileux → marnes → argiles

Ainsi qu'entre les modes de transformation des roches métamorphiques :

Sables argileux → schistes → schistes tachetés → cornéennes

Toutes ces roches sont soumises aux altérations météoriques et alimentent la formation des Sédiments, elles peuvent être soumises à l'action du métamorphisme. Si l'on ajoute à cela les perturbations mécaniques dues aux déformations de l'écorce terrestre (Plissements, fissurations ou diaclases, failles), on comprendra qu'il est en général difficile de définir la géométrie d'un gisement sans le secours de la géologie.

- Les granulats peuvent être naturels, artificiels ou recyclés.
- Les granulats naturels sont des grains minéraux qui proviennent de roches massives ou
- Meubles n'ayant subi aucune transformation autre que mécanique.
- Les granulats artificiels sont des grains minéraux qui résultent d'un procédé industriel
- Comprenant des transformations thermiques ou autres.
- Les granulats recyclés sont obtenus par traitement d'une matière inorganique précédemment utilisée dans la construction

I.4 CONDITIONS REQUISES POUR L'UTILISATION DES GRANULATS EN CONSTRUCTION :

L'utilisation d'un granulats comme renfort dans le béton nécessite la vérification d'un ensemble de conditions, notamment [05]:

- La nature minéralogique
- La forme des grains
- La dureté
- La propreté
- La granulométrie
- Le pourcentage d'humidité
- La non réactivité chimique vis-à-vis du liant

I.5 ROLES DES GRANULATS DANS LE BETON :

a) Sable :

Les sables entrent dans la composition des mortiers, des bétons, des matériaux préfabriqués où ils participent à la résistance à l'écrasement, d'où la recherche d'un sable dur, et compact. C'est souvent par la médiocre qualité du sable que périssent les bétons. Il faut que les grains de sable demeurent plus durs que la pâte de ciment durci qui les enveloppe : ils donnent de la cohésion au mélange, mortier ou béton [06].

A côté des rôles cités précédemment :

- Il permet l'économie de liant sans réduire la résistance du mélange ;
- Il facilite la prise en assurant la porosité du mortier, et son aération ;
- Il combat le retrait du ciment pur et atténue le gonflement du mortier de chaux;
- Il constitue un excellent terrain de fondation, s'il n'est pas affouillé, du fait de son incompressibilité et de sa mobilité, ce qui permet une bonne répartition des pressions
- Il constitue un lit sous carrelage, et permet l'enrobage des canalisations.

b) Les graves :

Les graves malaxées avec un certain pourcentage de ciment (3 à 6 % selon la destination du matériau) constituent une sorte de béton maigre appelé *grave-ciment*.

On les utilise comme [06] :

- Couche de base de chaussée noire ;
- Couche de fondation de chaussée en béton de ciment ;
- Sous couche pour sois d'usine, cours bétonnées, parkings, trottoir, pistes, etc.

I.6 CRITÈRE DE CHOIX DES GRANULATS :

Pour faire un choix judicieux des granulats, l'utilisateur doit prendre en compte principalement trois grands critères [06] :

Critère 1: Adéquation granulats /Béton

Caractéristiques	Influence sur le béton
Nature minéralogique	<i>La plupart des granulats conviennent pour le béton ; Influence défavorable des argiles, des calcaires marneux..</i>
Présence de matières organiques	<i>Influence défavorable sur la prise et le durcissement ; Chutes des résistances.</i>
Teneur élevée en sulfates, sulfures, chlorures	<i>Réaction avec le ciment, fissuration, corrosion des armatures.</i>
Propreté des granulats	<i>Les impuretés perturbent l'hydratation du ciment et entraînent des défauts d'adhérence granulats/pâte.</i>
Forme des grains	<i>Peu important généralement ; certains sables concassés peuvent parfois être défavorables à la mise en œuvre du béton et à sa compacité finale.</i>
Granulométrie	<i>Importante pour la composition du béton.</i>

Critère 2: Aptitude à l'emploi selon la roche d'origine

<i>Roche d'origine</i>	<i>Dilatation Mico/m/°C)</i>	<i>Propriétés</i>	<i>Possibilité d'emploi pour le béton</i>
Eruptives			
<i>Granités</i>	8 à 12	<i>Dures et compactes bonnes résistances au gel</i>	<i>Oui pour la plupart</i>
<i>Diorites</i>			
<i>Porphyres</i>			
<i>Basaltes</i>			
Métamorphiques			
<i>Quartzites</i>	10	<i>Dures et compactes inattaquables chimiquement</i>	<i>Granulats de qualité utilisés pour les parements</i>
<i>Marbres</i>	10 à 12		
<i>Schistes</i>			
<i>Gneiss</i>			
Sédimentaires			
<i>Calcaires</i>	6 à 8	<i>Bonne adhérence au mortier</i>	<i>oui</i>
<i>Dolomies</i>			<i>Essais préalables</i>

Critère 3: Selon l'emploi du Béton

<i>Emploi</i>	<i>Densité</i>	<i>Granulats</i>
<i>Bétons classiques pour le chantier ou la préfabrication</i>	2,2 à 2,4	<i>Tous granulats roulés ou concassés avec préférence pour les siliceux, calcaires ou silico- calcaires.</i>
<i>Bétons apparents architectoniques</i>		<i>Tous granulats roulés ou concassés avec préférence pour les siliceux, calcaires ou silico- calcaires + porphyres, basaltes, granités, diorites.</i>
<i>Bétons légers</i>	<i>De structure</i> 1,5 à 1,8	<i>Argile ou schiste expansé, laitier expansé.</i>
	<i>Semi isolants</i> <i>Semi</i> <i>porteurs</i> 1 à 1,5	<i>Argile expansée, pouzzolane, ponce.</i>
	<i>Isolants</i> 0,3 à 0,8	<i>Vermiculite, liège, bois, polystère expansé, verre expansé.</i>
<i>Bétons lourds</i>	3 à 5	<i>Corindon, barytine, magnétite</i>
<i>Bétons réfractaires</i>	2,2 à 2,5	<i>Corindon, déchets de produits réfractaires, briques silico-alumineux, laitiers, granulats spéciaux.</i>
<i>Bétons ou chapes pour dallages industrielles</i>	2,4 à 3	<i>Corindon, carborundum, granulats métalliques.</i>

I.7 Utilisation des granulats :

Mis à part les drains, où l'on s'intéresse à une propriété de transfert de l'eau à travers les granulats en recherchant un assemblage granulaire à forte porosité, toutes les autres utilisations tendent au contraire à concevoir des assemblages granulaires à faible porosité et donc à forte compacité. Les objectifs recherchés sont ici certaines caractéristiques mécaniques: module de déformation élevé pour les granulats non liés et résistance à la traction élevée pour les granulats liés. L'obtention de cette compacité est due à trois facteurs : la granularité, le compactage, l'adjonction de liant.

La granularité conditionne la porosité du mélange. Si tous les grains avaient la même dimension, on aurait une porosité maximale de 30 %, s'ils étaient répartis suivant une courbe discontinue, on aurait une porosité minimale de 3 %. Mais on ne sait pas les arranger d'une façon optimale et il n'est pas économique de réaliser une telle granularité. On va donc se trouver avec des granularités continues telles qu'elles existent dans la nature ou telles que les produisent les concasseurs qui, en se rapprochant des courbes de Talbot (figure I.2) conduisent, sur le plan pratique, aux plus grandes compacités.

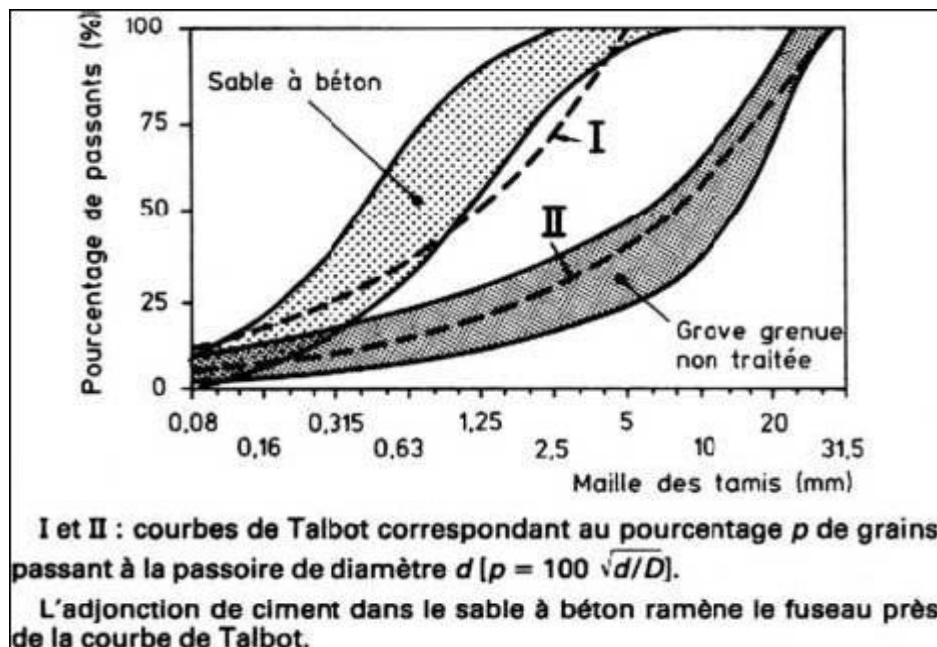


Figure I.2 : Fuseaux et courbes de Talbot

Le compactage est obligatoire pour toutes les techniques utilisant des graves, traitées ou non, pour les assises de chaussées et a pour but d'améliorer la mise en place des éléments, et donc la compacité. Cette opération s'effectue toujours à teneur en eau optimale.

À noter qu'une roche trop tendre risque de voir sa granularité évoluer au compactage, ce qui amènerait le mélange vers une courbe trop sableuse et donc moins dense. Dans ce cas, il faut savoir choisir une granularité plus grenue (courbe plus creuse) pour qu'elle soit optimale après compactage.

Pour les bétons hydrauliques, l'obtention, avant prise, d'un mélange très plastique rend la phase de compactage moins importante ; l'utilisation de vibrations a plus pour rôle le remplissage parfait des coffrages.

L'adjonction de liant vient contribuer à la granularité, mais surtout apporter au mélange des forces de liaisons inter granulaires qui accroissent sa résistance à la traction.

La granularité est donc, dans tous les cas, le paramètre fondamental. Elle se détermine après lavage sous eau, par tamisage à sec, entre 80 μm et 80 mm. En dessous de 80 μm la loi de Stokes est largement utilisée.

La résistance mécanique des granulats, tant qu'elle reste supérieure ou égale à celle du composite que l'on réalise, ne joue aucun rôle, sauf d'entraîner une évolution au compactage, ou si le composite est soumis à une action mécanique d'usure ou de choc (couches de surface des chaussées, ballasts qui nécessitent des granulats plus durs).

Cette résistance est mesurée par l'essai Los-Angeles (action de chocs dans un broyeur à boulets) et par l'essai Micro-Dévale (usure par frottements en présence d'eau). Ainsi, la propreté des sables est aussi un paramètre fondamental.

Les argiles représentent la pollution la plus fréquente, leur présence entraîne toujours une diminution de résistance et il est prudent de ne pas dépasser les seuils limites spécifiés pour chaque technique.

I.8 CERAMIQUE :

Les céramiques en général sont utilisées depuis plusieurs siècles dont le bâtiment. Ils se sont adaptés à l'évolution de la construction et à ses impératifs, tant dans le domaine traditionnel que dans celui dit industrialisé.

I.8.1 DÉCHETS DE CERAMIQUE :

Un déchet est tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon [07]. Il est défini comme inerte, selon la directive européenne 1999/31/CE du 26 avril 1999 [08], relative à la mise en décharge "*s'il ne subit aucune modification physique, chimique ou biologique importante*". C'est-à-dire que les déchets inertes ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas d'autres matières avec lesquelles ils entrent en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine. Ces déchets inertes sont donc essentiellement des déchets minéraux ou assimilables au substrat naturel et non pollués. Ce sont les bétons, tuiles et céramiques, briques, déchets de verre, terres et granulats non pollués, les mélanges d'enrobés bitumineux sans goudron et les isolants minéraux (laine de verre, de Roche, de laitier, verre expansé), etc.

La composition moyenne des déchets inertes de chantier de bâtiment comprend : 57% de déchets inertes mélangés, 13% de béton armé, 11% de ciment et mortier, 7% de céramique et terre cuite [08]. Le chantier est donc une source importante de matières premières [09]. Par exemple la production française de déchets est de 849 millions de tonnes en 2004 dont 343 millions de tonnes de déchets du bâtiment et des travaux publics, dont 3 millions tonnes de déchets dangereux [10].

Cependant, nous avons essayés dans cette partie d'étude de mettre le point sur l'utilisation de déchets de céramique et leurs principales filières de valorisation en génie civil.

Enfin, en Algérie selon les informations disponibles, l'utilisation des déchets de céramique restent insuffisantes.

I.8.2 VALORISATION DES DECHETS DE CERAMIQUES :

Par exemple, selon [Paul O. Awoyera , Julius M. Ndambuki, Joseph O. Akinmusuru, David O. Omole] [11], la résistance présentée par la Fig. I.4 et Fig. I.5 montre bien que la résistance augmente avec le % des agrégats de céramique.

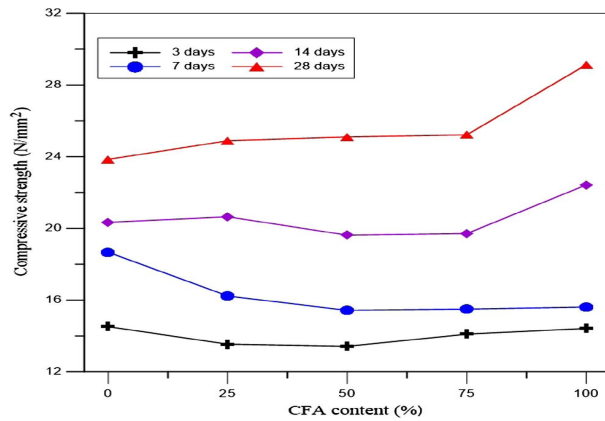


Fig.14: La variation de la résistance à la compression en fonction de la teneur des déchets de céramique (agrégats fins en céramique (CFA))

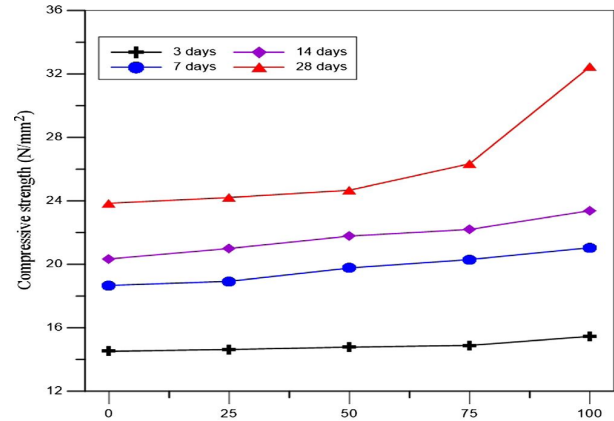


Fig.15: La variation de la résistance mécanique à la compression en fonction d'agrégats granulés en céramique (CCA).

Donc d'après [Paul O et al] que dans l'ensemble, l'utilisation des déchets de céramique peut résoudre des problèmes de pénurie d'agrégats dans diverses constructions des sites. En outre, cela peut réduire les problèmes environnementaux liés à l'extraction globale des déchets en générale et en particulier les déchets céramiques. Cependant, la plupart des enquêtes ont été effectuées à l'aide de déchets de céramique montre bien qu'il y a un gain de résistance.

La même constatation a été montrée par [Fernando Pacheco-Torgal, Said Jalali] et a été confirmée par [Hemanth Kumar Ch, Ananda Ramakrishna K, Sateesh Babu K, Guravaiah T, Naveen N, Jani Sk] [12]

I.8.3 Conclusion :

Il s'avère donc d'après ce qu'on vient de voir que la valorisation des déchets de céramique en génie civil apporte un grand intérêt, et tous les acteurs qui sont en relation avec en tirent profits, à savoir :

- Pour les unités de fabrication de céramique, il leur permet de liquider leurs stocks en déchets et facilite la gestion des espaces de manipulation de ces produits.
- Pour les acteurs de l'environnement, l'élimination des déchets contribue fortement à la préservation des ressources naturelles et à la limitation des risques de pollution liés à ces déchets d'une part et c'est une contribution à l'amélioration de l'hygiène d'autre part.

Enfin, on peut dire que les déchets ont des influences plus ou moins marquées sur les différentes propriétés tant à l'état frais qu'à l'état durci du béton qui les contient. Ce chapitre on considéré comme une clé qui nous a paru les plus pertinentes par rapport à notre sujet, comme le développement de la résistance mécanique à la compression.

Chapitre

II

II. 1 INTRODUCTION :

Nous présentons dans ce chapitre, les caractéristiques des matériaux utilisés pour la confection du béton.

Le choix des matériaux s'est porté, tout d'abord, sur leur disponibilité dans la région de M'SILA (région semi -aride).

Les matériaux utilisés sont :

- Le sable de rivière fin d'origine silicique de la région de BOUSAADA (OUED M'AÏTAR).
- Le gravier d'origine calcaire de carrière COSIDER.
- Le ciment CPJ de la cimenterie Lafarge
- Et de l'eau potable du laboratoire.
- Déchets de céramique (Usine Groupe Haddad-unité Elulma)

II. 2 SABLE :

II. 2. 1 SABLE DE RIVIÈRE (OUED MAITER) :

II. 2. 1. 1 Origine du sable :

Le sable de base de notre recherche provient des abords de l'OUED MAÏTAR. Cet oued est situé entre les collines de BOUSAADA, dont le vent provient du sud est chargé de grains fins.

L'avancée du désert a permis donc au fil des ans, le dépôt du sable dans l'OUED, qui par la suite a assuré son transport et son étalement. Ainsi plusieurs couches de sable fin mélangé aux galets de l'OUED se sont formées sur des profondeurs de plusieurs mètres, le long de l'OUED MAITER.

Nous pouvons dire que ce sable est d'origine éolienne.

II. 2. 1. 2 Exploitation du sable :

Au seuil de ces dernières années ; plusieurs entreprises étatiques et privées exploitent des carrières le long de l'OUED avec divers moyens surtout mécaniques.

Le matériau ; mélangé de grains fins et de galets, est passé à travers des tamis de dimensions de mailles égales à 50 mm, puis livré aux différents chantiers de toute la région et ses environs, telles que M'SILA, BORDJ-BOUARRERIDJ, SETIF, DJELFA, ..etc.

II. 2. 1. 3 Aspect général :

Le sable de Boussaâda à l'œil nu, apparaît de couleur ocré, composé surtout de grains fins et uniformes, mais il existe aussi une petite quantité de gros grains.

Afin de diminuer la qualité de ces grains et d'uniformiser la granulométrie, et faciliter l'exploitation, on a ouvert des carrières là où le sable est creusé avec les bulldozers et tamisé à travers des tamis de dimensions de mailles de 5cm.

C'est pourquoi on trouve quelques fois dans ce sable des quantités de graviers de dimensions de 5 à 50 mm. Cela cause des inconvénients pour la technologie de la fabrication du béton, car la composition de ce dernier déjà calculée sera faussée en employant le sable mêlé préalablement avec le gravier et c'est pour cela qu'il faut étudier sérieusement ce sable (sable de Boussaâda) avant de l'employer dans la construction.

II. 2. 2 CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU SABLE UTILISENT :

Le sable de Boussaâda a été soumis à plusieurs essais en laboratoire de Génie civil de université de M'sila, suivant les normes françaises AFNOR [14].

II. 2. 2. 1 Masse spécifique (absolue) : NF P 18-555

C'est la masse de l'unité de volume de la substance, c'est-à-dire le rapport entre sa masse et son volume absolu.

Mode opératoire :

On détermine la masse volumique absolue du sable à l'aide du récipient de capacité 1000 ml. On prend 3 échantillons de masse 300g.

On place l'échantillon dans le récipient de capacité 1000 ml et on y verse 250 ml d'eau préparé préalablement dans 2^{ème} récipient gradué, puis on malaxe soigneusement le contenu pour chasser l'air qui y existe. Après cette opération, on détermine le volume final occupé par le mélange sable – eau. Soit (V) ce volume.

Sachant que le volume (V_e) d'eau versé est 150 ml, il serait facile de déterminer le volume occupé par le sable seul.

$$\text{Volume de sable} = V_1 = V - 150 \text{ ml}$$

La masse volumique absolue du sable est déterminée par la formule :

$$\rho = \frac{M}{V_1} \text{ Avec } M = 300 \text{ g}$$

Résultats obtenus :

Tableau II.1 Masse spécifique du sable

N° d'essai	M (g)	V_e (cm ³)	V_1 (cm ³)	ρ (g/cm ³)	ρ_{moy} (g/cm ³)
1	300	150	266	2.586	2.59
2	300	150	265	2.608	
3	300	150	266	2.586	

II. 2 .2. 2 Masse volumique apparente : NF P 18-554

II. 2. 2. 2. 1 Masse volumique apparente à l'état lâche :

C'est la masse du matériau par unité de volume y compris des vides existant entre les grains.

Mode opératoire :

On détermine la masse volumique apparente du sable à l'aide d'un entonnoir standardisé de capacité 2 à 2,5 litres.

- ◆ On remplit l'entonnoir avec du sable sec.
- ◆ On pèse le récipient vide M_1 .
- ◆ On place le récipient sous l'entonnoir à une distance de 10 à 15 cm et on le remplit avec du sable.
- ◆ Une fois le récipient est rempli, on nivelle la surface du sable et on pèse le tout. Soit M_2 ce poids.
- ◆ Volume de récipient V_r (900cm³).

La masse volumique apparente du sable est donnée par la formule suivante :

$$\rho_{\text{app}} = \frac{(M_2 - M_1)}{V_r}$$

Tableau II.2 Masse volumique apparente du sable à l'état lâche

N° d'essai	M ₁ (g)	M ₂ (g)	ρ_{app} (g/cm ³)	ρ_{app} (g/cm ³)
1	114,33	1468,97	1,505	1,504
2	114,33	1463,96	1,499	
3	114,33	1472,72	1,509	

II. 2. 2. 3 Compacité :

La compacité d'un matériau est une proportion de son volume réellement occupé par la matière solide qui le constitue, c'est à dire le rapport du volume absolu des grains au volume apparent du matériau.

Mode opératoire :

- ◆ Peser un échantillon de sable (150g)
- ◆ Verser à l'aide d'un entonnoir dans une éprouvette graduée au niveau V₁
- ◆ Verser un volume d'eau (V₂ = 150 cm³) sur le sable, on obtient alors un volume total V₃

La compacité du sable est donnée par le rapport :

$$C = \frac{(V_3 - V_2)}{V_1}$$

Où :

V₁ : Volume apparent du sable en ml

V₂ : Volume d'eau (150ml)

V₃ : Volume total (sable + eau) en ml

Tableau II.4 : Compacité du sable

N° d'essai	V ₁ (ml)	V ₂ (ml)	V ₃ (ml)	C (%)	C (%)
1	96	150	213	65,62	67,01
2	96	150	215	67,70	
3	96	150	215	67,70	

II. 2. 2. 4 Porosité : NF P 18-554

C'est le volume des vides entre les grains du sable. La porosité peut être déterminée par la formule suivante :

$$P(\%) = 100 - (\text{Masse volumique apparente} / \text{masse volumique absolue}) \times 100$$

$$P(\%) = \left[1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} \right] \times 100$$

On distingue deux cas :

- ◆ Etat compacte : $\rho_c = 37,05 \%$
- ◆ Etat lâche : $\rho_L = 41,87\%$

Pour les sables courants, on admet que la compacité en vrac est de l'ordre de 60% à 70%, c'est-à-dire la porosité est de 30% à 40% [15].

On constate que, la porosité du sable de BOUSAADA à l'état lâche est de 41.87% ; un plus grande que 30% par conséquent, ce sable n'est pas de meilleure qualité mais il peut être utilisé et considéré comme acceptable du point de vue de porosité.

II. 2. 2. 5 Equivalent de sable : NF P 18-598

Nous essayons de mettre en évidence la proportion d'impuretés argileuses ou ultra-fines contenues dans le sable et le pourcentage de poussières nuisibles et les éléments argileux qui diminuent la qualité des bétons et mortiers.

Mode opératoire :

- ◆ Tamiser une quantité de sable (masse supérieure à 500 g)
- ◆ Prendre une pesée de 120 g
- ◆ Remplir l'éprouvette de solution lavante jusqu'au premier repère (10cm)
- ◆ A l'aide de l'entonnoir verser la prise d'essai (120g) dans l'éprouvette et taper fortement à plusieurs reprises avec la paume de la main afin de chasser toutes les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon
- ◆ Laisser reposer pendant 10 minutes
- ◆ Fermer l'éprouvette à l'aide du bouchon en caoutchouc et lui imprimer 90 cycles de 20 cm de cours horizontale en 30 secondes à la main à l'aide d'un agitateur mécanique

- ◆ Retirer ensuite le bouchon, le rincer avec la solution lavante au dessus de l'éprouvette, rincer ensuite les parois de celle-ci
- ◆ Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette, le rouler entre le pouce et l'index en faisant tourner lentement le tube et l'éprouvette et en imprimant en même temps au tube un léger piquage. Cette opération a pour but de laver le sable et de faire monter les éléments fins et argileux. Effectuer cette opération jusqu'à ce que la solution lavante atteigne le 2^{ème} repère. Laisser ensuite reposer pendant 20 minutes.

a/ Equivalent de sable visuel (ESV):

- ◆ Après 20minutes de dépôt de sable, lire la hauteur h_1 du niveau supérieure du floculant jusqu'au fond de l'éprouvette à l'aide d'une réglette.
- ◆ Mesurer également avec la règle la hauteur h_2 comprise entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire et le fond de l'éprouvette.

$$ESV = \frac{h_2}{h_1} \times 100 [\%]$$

Où :

$$h_2 < h_1$$

h_1 : sable propre + éléments fins

b / Equivalent ide sable au piston (ESP):

- ◆ Introduire le piston dans l'éprouvette et laisser descendre doucement jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment. A cet instant bloquer le manchon du piston et sortir celui-ci de l'éprouvette.
- ◆ Introduire le réglet dans l'encoche du piston jusqu'à ce que le zéro vienne buter contre la face intérieure de la tête du piston. Soit h'_2 la hauteur lue et correspondant à la hauteur de la partie sédimentée.

$$ESP = \frac{h'_2}{h_1} \times 100 [\%]$$

Où :

h'_2 : La hauteur du sable ($h'_2 < h_1$)

Tableau II.5 : Equivalent de sable

N° d'essai	h_1 (cm)	h_2 (cm)	ESV (%)	h'_2 (cm)	ESP (%)
1	12,2	11,12	91,14	9,7	79,51
2	11,2	9,66	86,25	9,5	84,82
3	11,3	10	88,49	9,8	86,72

$$(ESV)_{moy} = 88,62\%$$

$$(ESP)_{moy} = 83,68\%$$

Donc:

$$ESV > 85\%$$

$$E.S.P > 80\%.$$

Tableau II.6: Comparaison des résultats.

E.S.V	E.S.P	Nature et qualité du sable
ES<65	ES<60	Sable argileux : Risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité.
65<ES<75	65<ES<70	Sable légèrement argileux de propriété 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 farine argileux convient parfaitement pour des bétons de hautes qualité.
E.S≥85	E.S>80	Sable très propre : L'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

C'est un Sable très propre : L'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

II. 2. 2. 6 Teneur en eau : NF P 18-555

Le sable a la capacité de retenir une quantité d'eau très grande (elle peut atteindre 20 à 25 % de son poids). Si son humidité est comprise entre la limite de 0 à 3 %, on l'appelle sec.

Mode opératoire :

- ◆ Peser un échantillon de sable humide, soit M_h son poids (1500 g).

- ◆ Laisser l'échantillon dans une étuve à une température dans l'intervalle de 105 °C à 110 °C pendant 24 heures.
- ◆ Peser l'échantillon de nouveau, soit M_s son poids.

$$W = \left(\frac{M_h - M_s}{M_s} \right) \times 100 \text{ [%]}$$

Où :

M_h : Poids du sable humide en (g)

M_s : Poids du sable sec en (g)

Tableau II.8 : Teneur en eau du sable

N° d'essai	M_h (g)	M_s (g)	W (%)	W_{moy} (%)
1	1000	975	2,56	2,56
2	1000	980	2,04	
3	1000	970	3,09	

II. 2. 2. 7 Degré d'absorption d'eau : NF P 18-555

Elle est le pouvoir d'un matériau d'absorber et de retenir l'eau. Elle est définie en pourcentage d'après la formule suivante.

$$A = \left(\frac{M_1 - M_2}{M_2} \right) \times 100 \text{ [%]}$$

Où :

M_1 : La masse du matériau saturé d'eau en (g)

M_2 : La masse du matériau sec en (g)

Tableau II.9 : Degré d'absorption du sable

N° d'essai	M_1 (g)	M_2 (g)	A (%)	A_{moy} (%)
1	500	498.3	0.34	0,36
2	500	499.1	0.18	
3	500	497.2	0.56	

Selon le mode opératoire défini dans les normes NF P18- 554 et NF P18- 555 [14], la limite supérieure du coefficient d'absorption d'eau du granulat est fixée à 5%, c'est –à– dire $Ab < 5\%$. Donc, dans notre cas, cette propriété est vérifiée pour le sable utilisé.

La norme P 18 541 fixe comme valeur maximale 5%, pour les bétons classiques, ce qui est peut-être insuffisamment sévère, valeur d'ailleurs ramenée à 2,5% pour les bétons de résistance caractéristique supérieure à 36MPa.

Observation :

Exceptionnellement, pour certaines utilisations, cette valeur est abaissée à 2 % [14]

II. 2. 2. 8 Analyse granulométrique : NF P 18-304. NF P 18-560

L'analyse granulométrique permet de mesurer la distribution dimensionnelle en poids des éléments d'un matériau. Elle comprend deux opérations :

- ◆ Tamisage :
- ◆ Sédimentation :
- ◆ La granularité est exprimée par une courbe granulométrique qui donne la répartition de la dimension moyenne des grains, exprimée sous forme de pourcentage du poids total du matériau. Elle est tracée en diagramme semi-logarithmique avec :
 - ◆ En abscisse, le logarithme de la dimension des ouvertures des tamis en valeurs croissante
 - ◆ En ordonnée, le pourcentage, en poids du matériau total de la fraction du sable dont les grains ont un diamètre moyen inférieur à celui de l'abscisse correspondante (passant)

On constate que la courbe granulométrique est un élément fondamental de la classification du matériau.



Figure II.1 : Les Tamis.

Les résultats de cette étude permettent de prévoir certaines propriétés du matériau comme la perméabilité, l'aptitude au compactage et l'utilisation comme filtre.

Mode opératoire :

- ◆ Prélever (1,5 kg) de matériau (sable sec).
- ◆ Peser chaque tamis à vide à 1 g près, soit m_i la masse du tamis
- ◆ Constituer une colonne de tamis propres et secs dont l'ouverture des mailles est respectivement de haut en bas : 5-2,5-1,25-0,63-0,315-0,125 et éventuellement 0,08 mm. La colonne est coiffée par un fond pour recueillir les éléments passant au dernier tamis et un couvercle pour éviter la dispersion des poussières. On commence par peser les tamis ainsi que le fond.
- ◆ Verser le matériau (sable sec) sur la colonne et la fixer soigneusement sur la machine d'agitation mécanique. Agiter pendant 5 minutes. Arrêter l'agitateur, puis séparer avec soin les différents tamis.

- ◆ Peser chaque tamis séparément à 1 g près. Soit M_i la masse du tamis (I) + le sable. La différence entre M_i et m_i (tamis de plus grandes mailles) correspond au refus partiel R_1 du tamis 1.
- ◆ Reprendre l'opération pour le tamis immédiatement inférieur.
- ◆ Ajouter le refus obtenu sur le sixième tamis à R_1 , soit R_2 la masse du refus cumulé du tamis 2 ($R_2 = R_1 + \text{Refus partiel sur tamis}$)
- ◆ Poursuivre l'opération avec le reste des tamis pour obtenir les masses des différents refus cumulés R_3, R_4, \dots

Le tamisât cumulé est donné par la relation suivante : $T = 100 - R_C$

Où :

T: Tamisât en %

R_C : Refus cumulés en %

Tableau : II.10 : Analyse granulométrique du sable rivière (Oued Maiter).

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
5	0.00	0.00	0.00	100,00
2.5	85.67	85.67	4.28	95,72
1.25	133.61	219.28	10.97	89,03
0.63	116.85	336.13	16.81	83,19
0.315	319.72	655.85	32.80	67,20
0.165	987.23	1643.08	82.17	17,83
0.08	339.44	1982.52	99.15	0,85
fond	17.05	1999.57	100	0,00

REMARQUE :

D'après les résultats donnés au tableau (II-10), nous pouvons constater que :

- ◆ 20.78 % des grains de sable ont un diamètre compris entre 0.315 et 0.63, c'est un sable fin.
- ◆ Le pourcentage des fines (particules inférieures à 0.08 mm) est inférieur à 5%, ceci à montrer que notre sable était propre et n'avait pas besoin d'être lavé avant son utilisation du point de vue de la granularité.

COMMENTAIRES :

Selon l'analyse granulométrique du sable de rivière et d'après la figure II-2 correspondante à la méthode française, nous notons que plus de 50% de la courbe obtenue dans ce cas est en dehors des fuseaux de spécification du sable pour les bétons.

Nous déduisons que c'est un sable fin et il n'est pas de bonne qualité. Il n'est donc spécifié pour la fabrication des bétons du point de vue de l'analyse granulométrique.

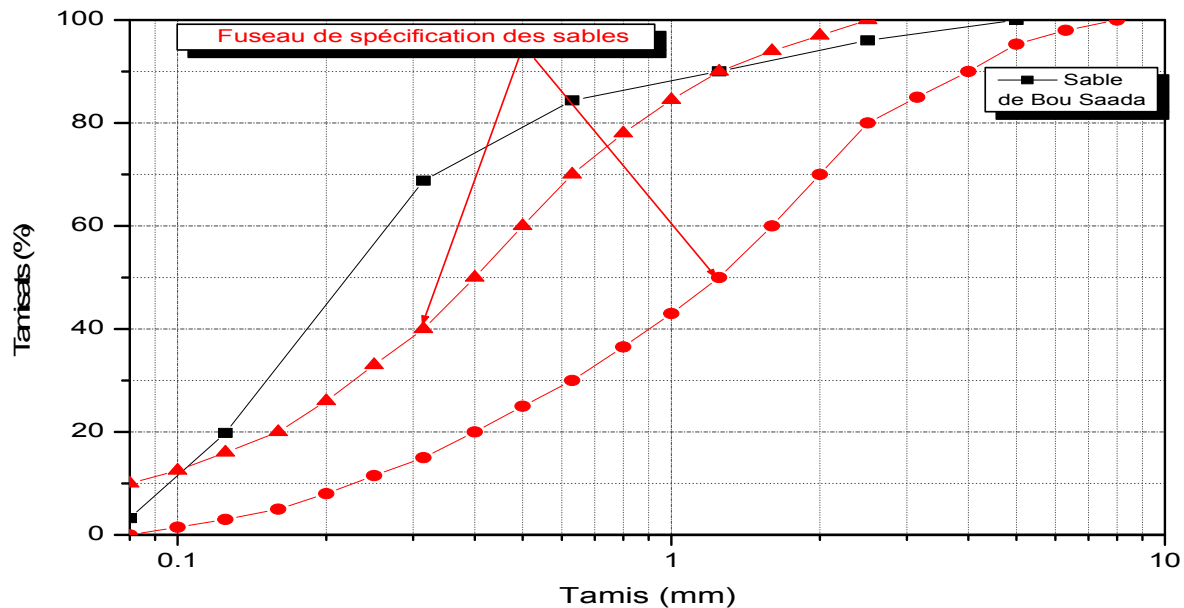


Figure II.2 : Analyse granulométrique du sable

II. 2. 2. 9 Module de finesse :

C'est un facteur très important, qui nous permet de juger la grosseur du sable. Il est exprimé par le rapport de la somme des refus cumulés des tamis de mailles : 0.16-0.315-0.63-1.25-2.5 et 5 (mm) sur 100 et calculé par la relation suivante :

$$M_f = \sum \frac{R_c}{100}$$

Où :

R_c : Refus cumulé.

Selon la norme AFNOR :

- Le sable préférentiel ($2,20 < M_f < 2,80$)
- Le sable un peu trop fin ($1,80 < M_f < 2,20$)
- Le sable un peu trop grossier ($2,80 < M_f < 3,20$)

Dans notre cas : $M_f = 1.68$

$M_f < 1.8$: C'est un sable très fin.

II. 2. 3 Caractéristiques chimique du sable :

La composition chimique du sable de dune (OUED MAITRE) est établie à la cimenterie de Lafarge (M'sila). Elle est donnée par le tableau II.11.

Tableau II.11 : Analyse chimique du sable de BOUSAADA

<i>constituants</i>		<i>Teneur en (%)</i>
<i>Elément</i>	<i>Symbole</i>	
Silice	SiO ₂	94.36
Chaux	CaO	0.95
Oxyde de ferrique	Fe ₂ O ₃	1.27
Alumine	AL ₂ O ₃	0.99
Oxyde de magnésium	MgO	0.17
Sulfate	SO ₃	0.04
Potassium oxyde	K ₂ O	0.31
Sodium oxyde	Na ₂ O	0
Pentoxyde de phosphore	P ₂ O ₅	0.02
Titanium(IV) oxyde	TiO ₂	0.09
Chlorine	CL	0.012
Pente au fer	P.A.F	1.35

Commentaire :

Notre sable est un sable à haute teneur en silice.

II. 3 GRAVIER :

Dans ce paragraphe, on présente les caractéristiques du gravier utilisé dans notre étude.

II. 3. 1 ORIGINE DU GRAVIER DE COSIDER :

Le gravier de base utilisé dans la confection du béton est obtenu, par concassage de la roche d'une carrière située à 25 Km de M'sila, en allant vers B.B.A (carrière COSIDER).

II. 3. 1. 1 Classes granulaires :

Les fractions du gravier sont :

- Fraction 3/8.
- Fraction 8/16.
- Fraction 16/25.

II. 3. 1. 2 Résistance à la compression de la roche d'origine :

La roche d'origine, est un calcaire compact de résistance à la compression, égale à 610 /Cm² [15].

II. 3. 2 CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU GRAVIER UTILISE :**II. 3. 2. 1 Masse volumique apparente :****Mode opératoire :**

- ◆ Sécher le matériau jusqu'au poids constant.
- ◆ Peser le récipient à l'état vide (M_1).
- ◆ Poser le récipient sur une table et à l'aide d'une pelle le remplir de gravier avec un certain excédent que l'on relève au ras de la surface du récipient. La distance séparant le récipient de la pelle doit être aux environs de 10 cm.
- ◆ Peser de nouveau le récipient plein de gravier. Soit M_2 ce poids.

La masse volumique apparente est déterminée par la formule suivante :

$$\gamma = \frac{(M_2 - M_1)}{V}$$

Où :

V: Volume du récipient

M_1 : Le poids du récipient à l'état vide

M_2 : Le poids du récipient plein de gravier

Tableau II.12 : Masse volumique apparente du gravier :

Graviers	N° d'essai	$M_1(kg)$	$M_2(kg)$	$\rho_{app}(kg/l)$	$\rho_{moy}(kg/l)$
3/8 V = 7 L	1	2,921	12,561	1,377	1,381
	2	2,921	12,646	1,389	
	3	2,921	12,558	1,376	
8/16 V = 10 L	1	3,466	16,771	1,330	1,388
	2	3,466	17,350	1,388	
	3	3,466	17,333	1,387	
16/25 V = 20L	1	7,292	28,217	1,410	1,172
	2	7,292	28,337	1,052	
	3	7,292	28,357	1,053	

II. 3. 2. 2 Porosité et compacité : NF P 18-554

Le mode opératoire est semblable à celui effectué pour le sable

On calcule la porosité selon la formule :

$$P(\%) = \left[1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} \right] \times 100$$

La compacité donnée par la formule :

$$C = (\rho_a / \rho_{ab}) = 100 - P$$

L'indice des vides est donné par la formule suivante :

$$e = \frac{P}{(100 - P)}$$

Tableau II.13 : Porosité, Compacité Et Indice Des Vides

fraction de gravie	Porosité (%)	Compacité (%)	l'indice de vide
8/16	46,20	53.80	0,85
16/25	52.93	47.07	1.12
3/8	43,40	56.60	0.76

II. 3. 2. 3 Masse volumique absolue :**Tableau II.14 : Masse volumique absolue du gravier.**

Graviers	N° d'essai	$M_1(g)$	$Ve(cm^3)$	$V(cm^3)$	$\rho_{abs}(g/cm^3)$	$\rho_{moy}(g/cm^3)$
3/8	1	300	300	424	2,42	2,44
	2	300	300	421	2,48	
	3	300	300	424	2,42	
8/16	1	300	300	415	2,61	2,47
	2	300	300	426	2,381	
	3	300	300	424	2,42	
16/25	1	300	350	418	2,54	2,49
	2	300	350	420	2,50	
	3	300	350	423	2,44	

II-3-2-4 Analyse granulométrique :

Les résultats obtenus de chaque fraction du gravier, sont regroupés dans les tableaux ci-dessous :

a)- Fraction 3/8 (3Kg) :**Tableau II-15 : Analyse granulométrique du gravier 3/8.**

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
10	0	0	0	100
8	36.90	36.90	1.23	98,77
6.3	749.30	786.60	26.22	73,78
5	986.80	1773.00	59.10	40,90
4	784.20	2557.20	85.24	14,76
3.15	330.00	2887.20	96.24	3,76
2.5	84.60	2971.80	99.06	0,94
fond	28.20	3000.00	100.00	0,00

b)- Fraction 8/16 (3,5Kg) :**Tableau II -16 : Analyse granulométrique du gravier 8/16.**

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât (%)
		(g)	(%)	(%)
20	0	0	0	100
16	152.2	152.2	4.32	95,68
12.5	1645.4	1797.6	51.36	48,64
10	1260.7	3058.3	87.38	12,62
8	375.2	3433.5	98.10	1,90
6.3	61.95	3495.45	99.87	0,13
5	1.05	3496.5	99.90	0,10
fond	3.50	3500.00	100.00	0,00

b)- Fraction 16/25 (05Kg) :**Tableau II -17 : Analyse granulométrique du gravier 16/25**

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât (%)
		(g)	(%)	(%)
31.5	0	0	0	100
25	255.00	255.00	5.21	94,79
22.4	468.50	723.50	14.47	85,53
20	1492.00	2215.50	44.31	55,69
18	1563.00	3778.50	75.57	24,43
16	757.00	4535.50	90.71	9,29
12.5	453.00	4988.50	99.77	0,23
fond	11.50	5000.00	100.00	0,00

II. 3. 2. 5 Degré d'absorption d'eau : NF P 18-554**Tableau II -18 : Degré d'absorption d'eau du gravier.**

Graviers	N° d'essai	M_1 (g)	M_2 (g)	A (%)	A_{moy} (%)
3/8	1	1000	985	1,52	1,42
	2	1000	983	1,73	
	3	1000	990	1,01	
8/16	1	1500	1475	1,69	1,35
	2	1500	1485	1,01	
	3	1500	1480	1,35	
16/25	1	1500	1480	1,35	1,21
	2	1500	1484	1,08	
	3	1500	1482	1,21	

II. 3. 2. 6 Teneur en eau :**Tableau II -19 : Teneur en eau du gravier.**

Graviers	N° d'essai	M ₁ (g)	M ₂ (g)	W (%)	W _{moy} (%)
3/8	1	1000	997	0.30	0.30
	2	1000	997	0.30	
	3	1000	997	0.30	
8/16	1	1400	1397	0.215	0.334
	2	1400	1395	0.358	
	3	1400	1394	0.430	
16/25	1	1500	1494	0.402	0.402
	2	1500	1494	0.402	
	3	1500	1494	0.402	

II. 3. 3 CARACTERISTIQUES MECANQUES DES GRAVIERS UTILISENT

Le gravier utilisé dans l'étude du béton, a été soumis à deux essais mécaniques en laboratoire.

II. 3. 3. 1 Essai de résistance au choc (Essai Los Angeles) : NF P18-573.

La présente norme est utilisée pour la mesure de la résistance, à la fragmentation par chocs des éléments d'un échantillon de gravier.

II. 3. 3. 2 Essai de résistance à l'usure (Essai MD) : NF P18-572.

L'essai consiste à mesurer, la quantité d'éléments inférieurs à 1.6 mm, en soumettant le matériau à l'usure de boulets normalisés dans la machine de MICRO-DEVAL (MD).

Les résultats obtenus sont présentés au tableau suivant :

Tableau II-20 : Caractéristiques mécaniques du gravier utilisé.

Caractéristiques	Fractions du gravier	
	8/16	16/25
Coefficient de Los Angeles	25	28
Coefficient micro-deval « MDS »	14	18

- Pour les deux classes du gravier testées la valeur du Los Angles ($LA < 40\%$), nous pouvons conclure que ces graviers peuvent être utilisés pour la confection du béton hydraulique.
- Le coefficient micro-deval « MDS » $< 35\%$ donc on peut utiliser ce gravier.

II. 3. 4 CARACTERISTIQUES CHIMIQUES DES GRAVIERS UTILISES

La composition chimique du gravier de carrière COSIDER est établie à la cimenterie de ACC (M'sila). Elle est donnée par le tableau II.21.

Tableau II-21: analyse chimique de la pierre concassée:

Eléments	SiO_2	Al_2O_3	CaO	Fe_2O_3	MgO	SO_3	K_2O	Na_2O
Teneur (%)	40.65	8.87	40.56	3.25	3.65	0.79	0.65	0.01

II. 4 CIMENT :

Les ciments utilisés dans la construction sont caractérisés par leurs constituants, clinker presque pur ($\approx 97\%$), avec laitier (CLK, CHF) ou ajout divers (CPJ). Dans notre travail on a utilisé le CPj.

Certains ajouts ont des propriétés pouzzolaniques qui donnent un supplément de résistance à long terme, ainsi qu'une meilleure durabilité (cendres volantes), d'autre son aux même des liants hydrauliques (laitiers). Cette multiplicité des types de liants hydrauliques correspond aux exigences économiques et techniques actuelles.

II. 4. 1 CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU CIMENT UTILISE :

Le ciment de base utilisé dans notre recherche, est un ciment portland composé de classe 42.5 provient de la cimenterie de (wilaya de M'sila).

Tableau II.22 : Caractéristiques physiques de ciment.

Masse Spécifique	Masse volumique g / cm^3	Module de finesse cm^2 / g	Porosité %
3.1	1.1	3600	64

II. 4. 1 CARACTERISTIQUES CHIMIQUES DU CIMENT UTILISE :

La composition chimique du ciment utilisé est établie à la cimenterie de Lafarge (M'sila). Elle est donnée par le tableau II.23.

Tableau II.23 : Caractéristiques Chimiques du Ciment.

Elément	Teneur en %
SiO ₂	16.02
Al ₂ O ₃	4.49
Fe ₂ O ₃	2.92
CaO	57.84
MgO	1.68
K ₂ O	0.65
Na ₂ O	0.09

II. 5 L'EAU DE GACHAGE :

L'eau de gâchage utilisé est une eau potable du laboratoire de département de génie civil.

II. 5. 1 Caractéristiques chimiques de l'eau utilisée :

La composition chimique d'eau du laboratoire de département de génie civil est établie à laboratoire de département de chimie (M'sila). Elle est donnée par le tableau II.24.

Tableau II.24 : Caractéristiques chimiques d'eau.

La mesure	Teneur en (mg / l)
Degré de température	24.7
PH	7.78
Conductibilité	1799
Chlore cl ⁻	234.3
Sulfate So ₄ ⁻	351.60
Magnésium Mg ²⁺	110.8
Sodium Na ⁺	/
Calcium Ca ²⁺	267.2
Sédiment sec	1412
rééligibilité d'oxydation en eau	1024

II.6 DECHETS DE CERAMIQUE UTILISE :

On a utilisé les déchets de céramique comme des granulats.

II. 6.1 Classe granulaire :

La fraction du gravier de déchets de céramique utilisé est :

- Fraction 8/16.

II.6.2 CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU GRAVIER CERAMIQUE RECYCLEE UTILISE :

II. 6.2.1 Masse volumique apparente :

La masse volumique apparente obtenue est présentée dans le tableau ci-dessous :

Tableau II.25 : Masse volumique apparente du gravier de déchets de céramique

Graviers	N° d'essai	$M_1(kg)$	$M_2(kg)$	$\rho_{app}(kg/l)$	$\rho_{moy}(kg/l)$
8/16 V = 10 L	1	3,466	14,012	1,0546	1,0385
	2	3,466	13,926	1,0460	
	3	3,466	13,615	1,0149	

II. 6.2.2 Porosité et compacité :

Les valeurs de la porosité, la compacité et l'indice de vide sont donnés dans le tableau 25.

Tableau II.26 : Porosité, Compacité Et Indice Des Vides

fraction de gravie	Porosité (%)	Compacité (%)	l'indice de vide
8/16	51,01	48,99	1,02

II. 6. 2. 3 Masse volumique absolue

La masse volumique absolue obtenue est présentée dans le tableau ci-dessous :

Tableau II.27 : Masse volumique absolue du gravier de déchets de céramique.

Graviers	N° d'essai	$M_1(g)$	$Ve(cm^3)$	$V(cm^3)$	$\rho_{abs}(g/cm^3)$	$\rho_{moy}(g/cm^3)$
8/16	1	300	400	540	2,14	2,12
	2	300	400	540	2,14	
	3	300	400	545	2,09	

II. 6. 2. 4 Analyse granulométrique :

Les résultats obtenus de fraction du gravier de déchets de céramique utilisé sont regroupés dans le tableau ci-dessous

Tableau II -28 : Analyse granulométrique du gravier de déchets de céramique 8/16.

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
20	00	00	00	100
16	484	484	16.13	83.87
12.5	1618	2102	70.06	29.94
10	653	2755	91.83	8.17
8	209.9	2964.9	98.83	1.17
5	35	2999.9	99.99	0.01
Fond	0.1	3000	100	00

II.6.3 CARACTERISTIQUES MECANIQUES :

Les résultats obtenus concernant l'essai *Los Angeles* et l'essai de *Micro-deval* sont regroupés au tableau suivant :

Tableau II-29 : Caractéristiques mécaniques du gravier utilisé.

Caractéristiques	Fractions du gravier
Coefficient de Los Angeles	18,88
Coefficient micro-deval « MDS »	8.6

D'après ces résultats on constate que ce déchet est de bonne qualité.

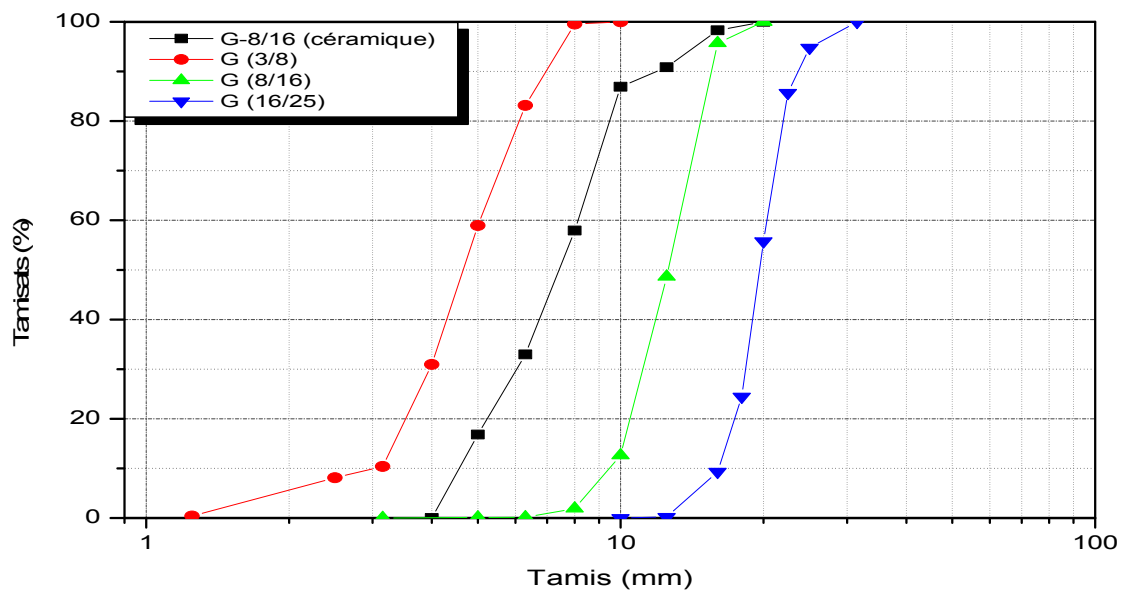


Fig. II.3 : Analyse granulométrique des graviers

Chapitre

III

III. 1 INTRODUCTION :

Dans ce chapitre, on présente la technique expérimentale au cours de notre travail et les différentes tâches effectuées au laboratoire, qu'il s'agit de déterminer la composition du béton et faire les essais sur béton durci : mesurer la résistance mécanique de l'éprouvette sous des essais destructifs (l'appareil de compression) et non destructifs.

III. 2 EXPERIMENTATION :

Cette partie consiste à présenter d'une façon globale les expériences effectuées concernant :

- Composition du béton.
- Confection des éprouvettes.
- Préparation du béton.
- Procédure de conservation.
- Contrôle et essai du béton à l'état frais.
- Contrôle et essais du béton à l'état durci.

III. 2. 1 DETERMINATION DE LA COMPOSITION DU BETON :

L'élaboration de la composition du béton consiste à définir le mélange optimal des différents granulats, ainsi que le dosage en ciment et en eau, afin de réaliser un béton donné. Elle a pour but d'établir les dépenses en matériaux pour un mètre cube de béton frais.

La composition d'un béton frais est défini par un rapport des masses entre les quantités de ciment, de sable et de pierres concassées avec l'indication du rapport *Eau – ciment* [15] [16].

Plusieurs méthodes de composition sont proposées par des spécialistes de renom, tels que Bolomey, Abrams, Faury, Dreux et Gorisse, ainsi que des Russes comme Bélaïev et Scramtaïev [17].

Ces méthodes sont, soit à granularité « continue », qui permet d'obtenir des bétons plus plastiques et de bonne ouvrabilité, soit par contre à granularité discontinue, qui conduit en général à des résistances en compression un peu supérieures, mais parfois au détriment de l'ouvrabilité $\left[\frac{G}{S} \text{élevé} \right]$ [15].

En ce qui nous concerne, le mélange optimal nous irons la chercher en utilisant la méthode de Dreux-Gorisse.

Notre choix a été dicté par le fait que la méthode de Dreux – Gorisse est permet de définir d'une façon simple et rapide une formule de composition à peu près adaptée au béton étudié.

III.2.1.1 Exposé de la méthode de Dreux – Gorisse :

III.2.1.1.1 Données de base :

III.2.1.1.1.1 Nature de l'ouvrage :

La connaissance de la nature de l'ouvrage est nécessaire : ouvrage massif ou au contraire élancé et de faible épaisseur, faiblement ou très ferrailé. Il sera nécessaire de connaître l'épaisseur minimale des éléments et les dispositions des armatures dans les zones les plus ferrillées : distance minimale entre elles et couverture par rapport au coffrage...

III.2.1.1.1.2 Résistance souhaitée :

En général on demandera une résistance f_{C28} en compression à 28 jours et compte tenu des dispersions et de l'écart quadratique s , il faudra viser une résistance moyenne à 28 jours :

$$f_c \text{ Supérieure à } f_{C28}$$

$$\text{Car : } f_{C28} = f_c - 0,8S$$

Si l'on admet un coefficient de variation moyen de l'ordre de 20 %, on pourra adopter la règle approximative pour la résistance moyenne à viser :

$$f_c = f_{C28} + 15\%$$

III.2.1.1.1.3 Consistance désirée :

Elle est fonction de la nature de l'ouvrage (plus ou moins massif ou plus ou moins ferrailé) de la difficulté du bétonnage, des moyens de serrage, etc. Elle peut se définir en général par la plasticité désirée mesurée par affaissement au cône comme indiqué dans le tableau III-1.

Tableau III. 1 : Évaluation de l'ouvrabilité par référence à l'affaissement au cône ou au test d'ouvrabilité C.E.S. [15]

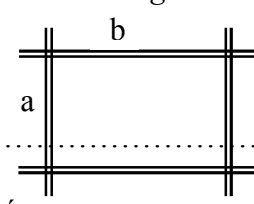
<i>Plasticité</i>	<i>Serrage</i>	<i>Affaissement</i>	<i>N nombre de chocs test C.E.S</i>
Béton très fermé	Vibration puissante	0 à 2	> 60
Béton fermé	Bonne vibration	3 à 5	30 à 50
Béton plastique	Vibration courante	6 à 9	15 à 25
Béton mou	Piquage	10 à 13	10 à 15
Béton liquide	Léger piquage	≥ 14	< 10

III.2.1.1.2 Dimension maximale des granulats :

Les stipulations des règles de calcul du Béton Armé BAEL 91 (article A.7.2) sont rapportées dans le tableau III.2.

Compte tenu de l'efficacité des moyens actuels de vibration et de la tendance à faire des bétons plus plastiques, ces valeurs de D sont peut-être un peu restrictives ; il ne faut pas oublier que les éléments de dimension D_{\max} sont peu nombreux et que, là où ils ne passeraient pas, tout le reste passe à condition d'un G/S pas trop élevé et d'une bonne ouvrabilité, ce qui correspond à la tendance actuelle.

Tableau III.2 : Évaluation approximative de D dimension maximale (Tamis) des granulats, en fonction des caractéristiques de la pièce à bétonner et de l'ambiance plus ou moins agressive :

Caractéristiques de la pièce à bétonner	D (Tamis)
e_h espacement horizontal entre armatures.....	$\leq e_h/1,5$
e_v espacement vertical entre armatures.....	$\leq e_v$
C distance des armatures de coffrage	
$\left\{ \begin{array}{l} \text{ambiance très agressive.....} \geq 5cm \\ \text{ambiance moyennement agressive, condensations.....} \geq 3cm \\ f_{C28} \text{ du béton supérieur à } 40 \text{ MPa.....} \geq 2cm \\ \text{ambiance non agressive.....} \geq 1cm \end{array} \right.$	$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array} \right\} < c$
	
roulés.....	$\leq 1.4r$
conçassés.....	$\leq 1.2r$
h_m hauteur ou épaisseur minimale	$\leq h_m/5$

III.2.1.1.3 Dosage en ciment :

On commencera par évaluer approximativement le rapport E/C en fonction de la résistance moyenne désirée f_c .

$$f_c = G.F_{CE} \cdot \left(\frac{E}{C} - 0,5 \right) \dots\dots\dots (III.1)$$

Avec :

f_{C28} : Résistance moyenne en compression désirée (à 28 jours) en MPa,

F_{CE} : Classe vraie du ciment (à 28 jours) en MPa,

C : Dosage en ciment (en Kg / m^3),

E : Dosage en eau totale sur matériaux secs (en litre pour $1 m^3$),

G : Coefficient granulaire (Tableau III-4).

Dosage minimal :

En fonction de l'environnement, les dosages minimaux prescrits par le fascicule 65 A qui, nous le rappelons, est le cahier des clauses techniques générales appliquées 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 particulière : $C \geq \frac{550}{\sqrt[5]{D}}$, ce qui revient à faire varier le dosage minimal entre 315 et 250 Kg de ciment par m³, lorsque D varie de 16 à 50 mm.
- en béton armé exposé à un milieu sans agressivité particulière mais comportant un parement fin : $C \geq \frac{600}{\sqrt[5]{D}}$, soit un dosage minimal en ciment variant de 345 à 275Kg/m³, lorsque D varie de 16 à 50 mm .
- en béton armé exposé à des conditions agressives sévères ou coulé sous l'eau, ainsi qu'en béton précontraint : $C \geq \frac{700}{\sqrt[5]{D}}$ correspondant à un dosage minimal variant de 400 à 320 Kg/m³ lorsque D varie de 16 à 50 mm .

D'autres textes réglementaires donnent également des indications sur les dosages, notamment la norme AFNOR P 18 011, mais les valeurs précédentes représentant pratiquement la synthèse des différents documents, on peut se limiter à ces spécifications.

Nous avons indiqué dans le tableau III.3 les dosages auxquels conduisent l'application des formules précédentes ainsi que les valeurs de $\sqrt[5]{D}$ en fonction de D .

Tableau III. 3 : dosages auxquels conduisent l'application des formules précédentes ainsi que les valeurs de $\sqrt[5]{D}$ en fonction de D .

D (Passoire) en mm	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100
$\sqrt[5]{D}$	1.3 8	1.45	1.52	1.5 9	1.6 6	1.7 4	1.8 2	1.9 0	2.0 0	2.0 9	2.1 9	2.2 9	2.4 0	2.5 1
$C \geq \frac{550}{\sqrt[5]{D}}$	40 0	38 0	36 2	346	332	316	302	390	275	263	251	240	230	220
$C \geq \frac{600}{\sqrt[5]{D}}$	43 5	41 5	39 5	378	362	345	330	315	300	288	275	262	250	240
$C \geq \frac{700}{\sqrt[5]{D}}$	50 0	48 0	46 0	440	420	400	385	370	350	335	320	305	290	280

Tableau III.4 : valeurs approximatives du coefficient granulaire G . ces valeurs supposent que le serrage du béton sera effectué dans de bonnes conditions (par vibration en principe)

Qualité des granulats	Dimension D des granulats		
	fins ($D \leq 16\text{mm}$)	Moyen ($25 \leq D \leq 40\text{mm}$)	Gros ($D \geq 63\text{mm}$)
Excellente	0.55	0.60	0.65
Bonne, courante	0.45	0.50	0.55
Passable	0.35	0.40	0.45

Ne suffit pas alors, connaissant C/E , de fixer arbitrairement le dosage en ciment et d'en déduire le dosage en eau E ; en effet, en choisissant par exemple, un faible dosage en ciment, on trouvera un dosage en eau faible ; on risquera alors d'obtenir un béton beaucoup trop sec (et vice versa). Le dosage en ciment donc fonction de C/E mais également du dosage en eau E nécessaire pour une ouvrabilité satisfaisante. L'abaque de la figure III-4 permet d'évaluer approximativement C en fonction de C/E et de l'ouvrabilité désirée qui doit être considérée comme une donnée du problème.

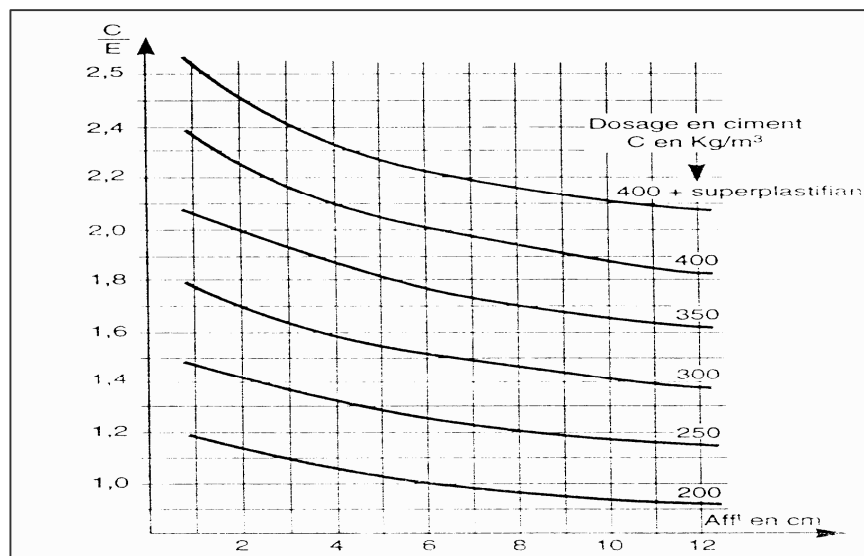


Fig. III.1 : Abaque permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport C/E et de l'ouvrabilité désirée (affaissement au cône).

III.2.1.1.4 Dosage en eau :

Ayant fait choix du dosage en ciment C, on déduit alors le dosage approximatif en eau totale à prévoir (provisoirement et qu'il conviendra bien entendu d'ajuster ultérieurement par quelques essais de plasticité et d'ouvrabilité).

L'abaque de la figure III.2 donne l'allure générale de la variation du dosage en eau en fonction de l'affaissement au cône et du test d'ouvrabilité C.E.S. Il ne s'agit bien entendu que d'ordre de grandeur pour des bétons courants et permettant de dégrossir rapidement une formule de composition mais comme pour tous les facteurs de cette composition c'est par des essais sur éprouvettes que les divers éléments constitutifs, et l'eau tout particulièrement, peuvent être définitivement dosée.

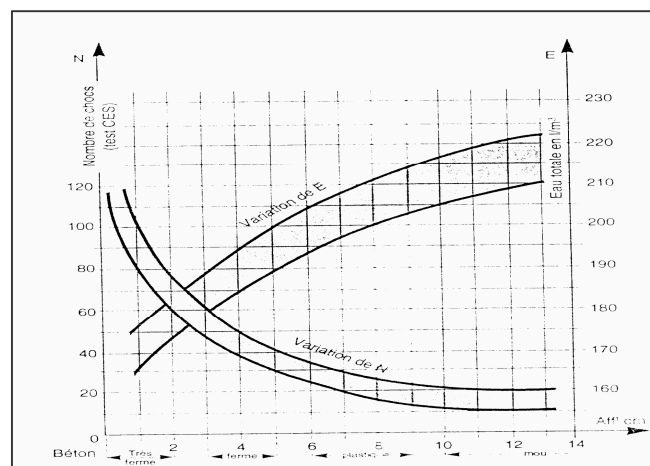


Figure III.2 : Variations relatives moyennes du dosage en eau E et du nombre de chocs du test d'ouvrabilité C.E.S, en fonction de l'affaissement, dans le cas des bétons composés suivant la présente méthode (le dosage en sable augmentant quand le dosage en ciment diminue).

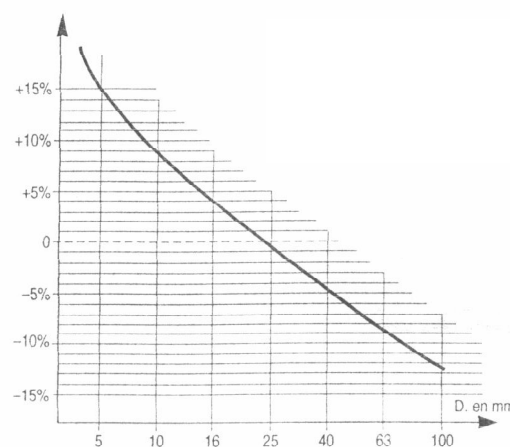


Figure III.3 : Variation de la correction à apporter au dosage en eau Si la dimension maximale des granulats est différente de 25 mm.

III.2.1.1.5 Choix du dosage en granulats :

Sur le graphique d'analyse granulométrique des granulats, on trace une composition granulatoire de référence OAB, le point B (à l'ordonnée 100%) correspond à la dimension D du plus gros granulat et le point de brisure A à des coordonnées ainsi définies :

❖ en abscisse (à partir de la dimension D tamis) :

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

Si $D \geq 20$ mm l'abscisse est située au milieu du « segment gravier » limité par le module 38 (5 mm) et le module correspondant à D.

❖ en ordonnée :

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

Où :

K : est un terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité du serrage. De la forme des granulats roulés ou concassés (et c'est surtout le sable dont l'influence est ici prépondérante) et également du module de finesse du sable. Il est donné par le tableau ci-dessous.

Tableau III.5 : La valeur du terme correcteur K en fonction du dosage en ciment

Vibration		Faible		Normale		Puissante	
Forme des granulats (du sable en particulier)		Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
Dosage en ciment	400+superplastifiants	-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

La 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 $K_s = 6M_f - 15$ (M_f étant le module de finesse du sable qui peut varier de 2 à 3 avec une valeur optimale de l'ordre de 2,5 pour laquelle la correction préconisée est alors nulle).

On trace les courbes granulométriques du sable et des fractions de gravier sur le même graphique que la courbe de référence. On trace alors les lignes de partage entre chacun des granulats, en joignant le point à 95% de la courbe granulaire de sable, au point de 5% de la courbe granulaire du gravier (si on utilise le gravier de fraction unique) ou de la première fraction (si on utilise le gravier de plusieurs fractions) et ainsi de suite.

On lit alors sur la courbe de référence, au point de croisement avec les droites de partage, les pourcentages en volume chaque granulats (sable, première et deuxième fraction du gravier). Si C est le dosage en ciment, le volume absolu des grains de ciment est :

$$V_c = \frac{C}{\rho_c}$$

Où :

ρ_c : La masse spécifique du ciment.

Le volume absolu de l'ensemble des granulats est :

$$V_{ag} = 1000\gamma - V_c$$

γ : Coefficient de compacité.

On choisira une valeur convenable du coefficient de compacité γ en fonction de D , de la consistance et de l'efficacité du serrage.

III. 2. 1. 2 Détermination pratique de la composition du béton utilisé :

III. 2. 1. 2. 1 Détermination de la résistance moyenne à viser :

$$f_c = f_{c28} + 15\%$$

$$f_c = 30 + (0.15) \times 30 = 34.5 \text{ MPa}$$

III. 2. 1. 2. 2 Détermination du rapport C/E :

$$f_c = GF_{CE} \left(\frac{C}{E} - 0,5 \right)$$

$G = 0,5$ (Les granulats sont de bonne qualité et $25 \leq D \leq 40 \text{ mm}$) [tableau1]

$$34.5 = 0,5 \times 48 \left(\frac{C}{E} - 0,5 \right) \Rightarrow \frac{C}{E} = 1.9375$$

$$\frac{C}{E} \approx 1.94$$

III. 2. 1. 2.3 Détermination du dosage en ciment :

D'après l'abaque de la figure I, on trouve pour $C/E = 1,94$ et $A_f = 7cm$, un dosage un ciment $C = 400Kg/m^3$

III. 2. 1. 2. 4 Détermination du dosage en eau :

On : $\frac{C}{E} = 1,94$, $C = 400kg/m^3$

$$\text{Donc : } E = 206.19kg/m^3$$

III. 2. 1. 2.5 Traçage de la courbe granulométrique de référence

En abscisse :

$D > 20$ mm (Pour notre cas $D = 31,5$), l'abscisse X_a est situé au milieu du segment limité par le module 38 (5 mm) et le module correspondant à D.

$$X_a = 12.5$$

En ordonnée :

$$y_a = 50 - \sqrt{25} + k$$

D'après le tableau 2 (vibration normale, gravier concassé, sable roulé), on obtient :

$$k = -2$$

$$y_a = 50 - \sqrt{31.5} - 2 = 42,38$$

Observation :

Le terme correcteur (k) n'a pas à intervenir dans ce cas, puisqu'il s'agit de sable un peu trop fin ($1.8 < M_f < 2$) et d'un béton normalement dosé et vibré (vibration normale).

III. 2. 1. 2. 6 Détermination des pourcentages des granulats :

D'après la courbe granulométrique. On trouve les pourcentages des granulats suivants :

- Sable 0/5 = 30%
- Gravier 3/8 = 8.5%
- Gravier 8/15 = 15.5 %
- Gravier 15/25 = 46%

III. 2. 1. 2 7. Détermination du coefficient de compacité γ :

On a : Béton plastique, Vibration normale et Dimension maximale de granulats $D_{\max} = 31.5mm$.

$$\Rightarrow \gamma = 0,830$$

Terme correctif en fonction de l'angularité des granulats (sable roulé et gravier concassé) :

$$\text{Alors } \gamma = 0,820$$

- Le volume absolu total : $1000 \times 0.820 = 820 \text{ l}$
- Le volume du ciment : $400 / 3.1 = 129.03 \text{ l}$
- Le volume des granulats : $820 - 129.03 = 690.97 \text{ l}$

III. 2. 1. 2. 8 Détermination des quantités nécessaires en ciment, en eau, en sable et gravillon (secs) pour réaliser 1 m^3 de béton.

- Le sable : $690.03 \times 0.30 \times 2.58 = 534.08 \text{ kg/m}^3$
- Gravier 3/8: $690.03 \times 0.085 \times 2.44 = 143.11 \text{ kg/m}^3$
- Gravier 8/15: $690.03 \times 0.155 \times 2.47 = 264.18 \text{ kg/m}^3$
- Gravier 15/25: $690 \times 0.46 \times 2.49 = 790.36 \text{ kg/m}^3$
- Ciment: 400 kg/m^3
- Eau: $E = 206.19 \text{ kg/m}^3$

III. 2. 1. 2. 9 Densité théorique :

$$\Delta_0 = 2337.92 \text{ kg/m}^3$$

C'est un béton ordinaire

III. 2. 1. 2. 10 Détermination des quantités des divers matériaux (+15% de pertes) pour la fabrication de 9 éprouvettes cylindriques 16×32 , 9 éprouvettes prismatiques $07 \times 07 \times 28$ cm et 9 éprouvettes cubiques $15 \times 15 \times 15$ cm

Volume totale :

$$V_T = 0.10059948 \text{ m}^3$$

$$V_T + 15\% = 0.115689402 \text{ m}^3$$

Les quantités

- Le sable : 61.79 kg
- Gravier 3/8: 16.56 kg
- Gravier 8/16: 30.56 kg
- Gravier 16/25: 91.44 kg
- Ciment: 46.28 kg
- Eau: 23.85 kg (vérifier l'affaissement 7cm)

III 2. 2 PREPARATION DU BETON :

Matériaux :

- Peser les quantités nécessaires des matériaux (ciment, gravier, sable et eau) convenable à notre nombre des éprouvettes.
- Verser le gravier, le sable et le ciment dans le malaxeur.

Malaxage :

Le malaxage est effectué dans un malaxeur à axe vertical de dimensions appropriées (le volume de la gâchée est généralement compris entre la moitié et le tiers de volume totale de la cuve).

- On fait le malaxage à sec pendant 30 secs.
- Introduire la quantité d'eau jusqu'on obtient un affaissement de 7 cm avec le Cône d'Abrams.

La gâchée : est la quantité de béton fabriquée en une seule fois dans le malaxeur du laboratoire. [18]

La gâchée exécutée par le laboratoire pour des essais d'étude doit être telle qu'elle permette d'obtenir un volume de béton compacté excédant celui des éprouvettes d'au moins 15 %.

III. 2. 3 LA CONFECTION DES EPROUVETTES :

Pour notre étude, nous avons opté pour un nombre d'éprouvette de 108 pour toutes les formes d'éprouvettes ($15 \times 15 \times 15$, 16×32 et $7 \times 7 \times 28$) cm.

Pour la réalisation des éprouvettes, nous avons appliqué les étapes suivantes :

- 1- Préparer une série des moules convenables, avec la quantité du béton
- 2- Placer, les moules sur une table.
- 3- Huiler les moules et vérifier leurs serrages.
- 4- Remplir, les moules par le béton, l'exécuter en trois couches.
- 5- Vibrer le béton à l'aide d'une table vibrante jusqu'à remontée de laitance en surface (soit pendant 30 secondes, pour avoir la finition de la face supérieure). Il faut qu'elle soit bien arasée à l'aide d'une règle métallique et placée lentement sur la face du moule.
- 6- Conserver les éprouvettes dans leurs moules jusqu'au démoulage.
- 7- Démouler, les moules après 24 heures de leur confection.
- 8- Marquer les éprouvettes au moment de leur démoulage, numéro des éprouvettes, la date du malaxage et de l'essai pour l'identification de l'essai.

Moule :

- Les parois latérales et le fond doivent être en matière imperméable, non absorbante et non réactive au liant.

- Les moules doivent être indéformables et étanches, notamment pendant la mise en place du béton le dispositif formant couvercle doit interdire toute évaporation.
- Les moules cubiques utilisent en plastique.

III. 2. 4 CONTROLE DU BETON A L'ETAT FRAIS :

Introduction :

Le béton est matériau de construction formé par un mélange de ciment, de granulats et d'eau, éventuellement complété par des adjuvants et des additions. Ce mélange, qui est mis en place sur le chantier ou en usine à l'état plastique, peut adopter des formes très diverses parce qu'il est moulable ; il durcit progressivement pour formé finalement un monolithe. Selon sa formulation, sa mis en œuvre et ses traitements de surface, ses performances et son aspect peuvent considérablement varier [19].

Essai d'affaissement au Cône d'Abrams « slump-test » : (NF P 18-451) [20]

C'est l'essai le plus couramment utilisé car il est très simple à mettre en œuvre. Il est tant que la dimension maximale des granulats ne dépasse pas 40mm.

Principe de l'essai :

Il s'agit de constater l'affaissement d'un cône de béton sous l'effet de son propre poids. Plus cet affaissement sera grand et plus le béton sera réputé fluide.

Equipement nécessaire :

L'appareillage est complètement décrit dans la norme NF P 18- 451, il se compose de 4 éléments :

- Un moule tronconique sans fond de 30cm de haut, de 20cm de diamètre en sa partie inférieure et de 10cm de diamètre en sa partie supérieure.
- Une plaque d'appui.
- Une tige de piquage.
- Un portique de mesure.



Figure III. 4 :
Essai au cône d'Abrams

Conduite de l'essai :

La plaque d'appui est légèrement humidifiée et le moule légèrement huilé est fixé. Le béton est introduit dans le moule en 3 couches d'égales hauteurs qui seront mises en place au moyen de la tige de piquage actionnée 25 fois par

couche (la tige doit pénétrer la couche immédiatement inférieure). Après avoir arasé en roule la tige de piquage sur le bord supérieur de moule, le démoulage s'opère en soulevant le moule avec précaution. Le béton n'étant plus maintenu s'affaisse plus ou moins suivant sa consistance. Celle-ci est caractérisée par cet affaissement, noté A ; mesuré grâce au portique et arrondi au centimètre le plus proche. La mesure doit être effectuée sur les points le plus haut du béton et dans la minute qui suit le démoulage.

Tableau III. 6 : Appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au Cône. [20]

Classe de consistance	Affaissement (cm)	Tolérance (cm)
ferme (F)	1 à 4	± 1 cm
Plastique (P)	5 à 9	± 2 cm
Très plastique (T.P)	10 à 15	± 3 cm
Fluide (Fl)	≥ 16	± 3cm

III. 2. 5 MISE EN PLACE DU BETON ET CONSERVATION : [18]

Serrage du béton :

C'est l'opération qui accompagne la mise en place du béton à l'intérieure du moule. On distingue trois types de serrage :

- Mise en place par aiguille vibrante.
- Mise en place par piquage manuel.
- Mise en place par microtable vibrante.

En général, on emploie l'un ou l'autre des trois types de serrage selon le moule utilisé et la valeur de l'affaissement du béton préparé.

Le but principale du serrage et de faire chasser les poches d'air se trouvant à l'intérieur de la masse de béton et donc d'éviter sa ségrégation après son durcissement (béton compact)

- Si l'affaissement ≤ 9 : la mise en place se fait par microtable vibrante.

Arasement des éprouvettes :

L'arasement est une opération de finition des éprouvettes à leur partie supérieure qui est non coffrée. On utilise à cet effet une règle métallique biseautée.

Conservation des éprouvettes :

Après démoulage (en principe à 24 heures) la conservation s'effectue à l'eau jusqu'à la dette d'essai.

III. 2. 6 ESSAIS SUR LE BETON DURCI :

Dans notre travail nous avons besoin de savoir la résistance mécanique à la compression, et pour cela nous avons besoin de faire ces essais :

- Les essais destructifs (essais d'écrasement à la presse).
- Les essais non destructifs

III. 3 DESCRIPTION GENERALE DES APPAREILS UTILISENT :

III. 3. 1 Scléromètre :

III. 3. 1. 1 principe de fonctionnement :

L'essai au scléromètre est le plus connu pour un contrôle rapide du béton, en fait il s'agit de tester la dureté superficielle du béton durci .cette dureté étant d'autant plus élevée que le béton est plus résistant, cela permet d'avoir un ordre de grandeur de la résistance atteinte par un béton à un âge donné.

Le scléromètre appliqué sur une surface du béton à ausculter par une pression de la main [18] [20].

Suite au choc, une partie de l'énergie est absorbée par le béton (énergie de déformation permanente), l'autre partie provoque le rebondissement de la masse mobile qui est proportionnel à l'énergie restée disponible.

Il est indispensable que la masse du béton soit infinie par rapport à la partie mobile du scléromètre afin d'éviter l'obtention d'une énergie cinétique lors des essais.

En cas d'essais sur éprouvettes, il est recommandé de fixer ces dernières entre les plateaux d'une presse [21].



Figure III. 5 : Essai de scléromètre

III. 3.1. 2 contrôles de la justesse de fonctionnement du scléromètre : [21]

Étalonnage de l'appareil :

Le bloc d'étalonnage, en néoprène armé, est de dimensions 25 cm x 25 cm x 6 cm.

Le scléromètre doit être contrôlé par des essais d'étalonnage, car les constantes des ressorts changent après plusieurs utilisations.

Deux méthodes sont utilisées pour l'étalonnage du scléromètre :

Sur bloc en néoprène armé :

Cette méthode consiste à effectuer sur le bloc en néoprène, posé sur une assise rigide et plane, deux séries de 27 mesures espacées de 5 s et à calculer la moyenne de l'indice sclérométriques I_{sm} de la 2^{ème} série. La position de l'appareil doit être verticale.

Dans le cas où ;

$28 \leq I_{sm} \leq 32$: Le fonctionnement de l'appareil est satisfaisant

$I_{sm} < 28$ ou $I_{sm} > 32$: Appareil défectueux

Dans le deuxième cas, il est procédé au nettoyage de l'appareil afin de déterminer une nouvelle fois la valeur de I_{sm} .

Si l'appareil est toujours défectueux, donc il est inutilisable. Une révision est nécessaire dans ce cas avec un certificat d'étalonnage.

III. 3. 2 Ultrason :

III. 3. 2. 1 principe de fonctionnement :

Le principe utilisé est celui de la mesure du temps de propagations t des ondes longitudinales dans le béton, émises par un ébranlement. [18]

Les deux sondes sont appliquées l'une en face de l'autre contre la surface de béton, et le temps de propagation est lu sur l'affichage digital en micro-secondes.

Connaissant la distance d parcourue par les ondes, on en déduit une vitesse V :

$$V = \frac{d}{t}$$

Où :

V : exprimée le plus souvent en mètres par seconde $\frac{m}{s}$.

Comme une certaine corrélation existe entre la vitesse du son et la résistance, on peut apprécier, avec des étalonnages préalables, la valeur de la résistance du béton.

III. 3. 2. 2 Contrôle de la calibration :

L'appareil utilisé est le modèle numérique « ultrasonic tester E 46 »



Fig III.6: Ultrasonic tester E 46

Avant chaque emploi, il est recommandé de contrôler la calibration.

Le temps de passage des ultrasons à travers l'éprouvette étalon (éprouvette de calibration) est de $58,1 \mu S$.

III.4 PROCEDURE DES ESSAIS :

III.4.1 Scléromètre :

III.4.1.1. Choix des zones et points d'essai :

La surface de mesure doit être divisée en zones de 400 cm^2 au moins. Chaque zone est structurée en un grillage de points de mesure ayant pour espacement $d = 30 \div 50 \text{ mm}$.

Les points de mesures extrêmes doivent être au moins à 30 mm des bords de la surface testée. [21]

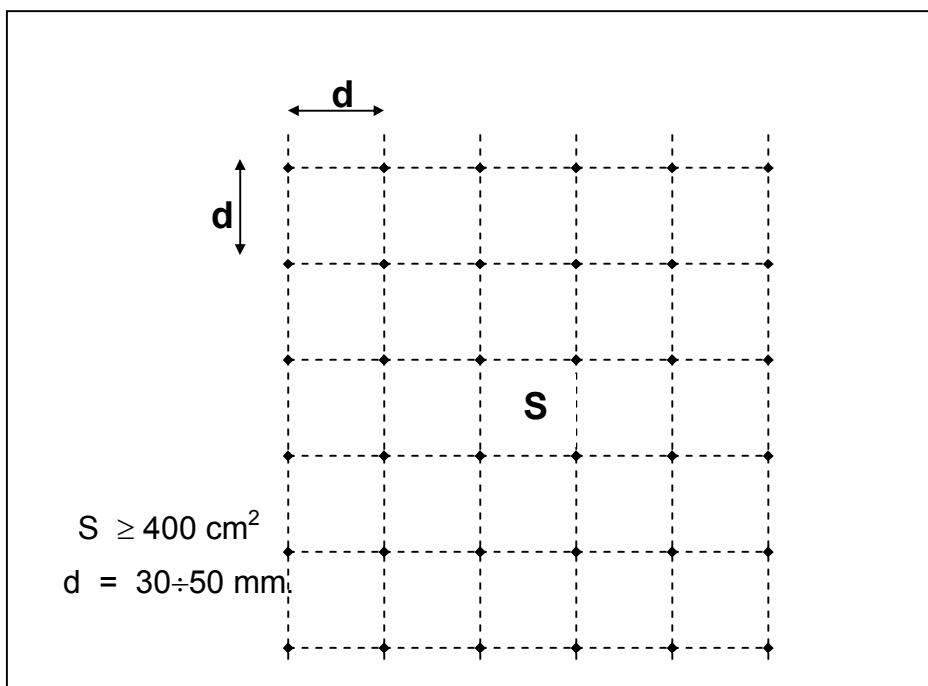


Figure III. 7: Grille de mesure sur ouvrage

Pour notre travail, les nombres des points de mesure dans une surface d'éprouvette cubique ($15 \times 15 \times 15$), on a effectué 18 lecture et pour seul surface 9 mesures.

III .4 . 1. 2 préparations des zones d'essais :

Les mesures doivent être effectuées sur des surfaces nettes ne présentant pas des nids de gravier, des écaillages, une texture grossière, une porosité élevée ou des armatures affleurantes.

La préparation de la surface consiste à éliminer tout enduit ou peinture adhérent ou poncer si cette surface est constituée d'une couche superficielle friable. Toute trace d'eau sur la surface doit être essuyée.

En faisant cette opération, la dispersion est moins grande.

Les faibles inégalités résultant des coffrages de bois non raboté peuvent être supprimées par polissage avec la pierre à polir jointe à l'instrument. [21]

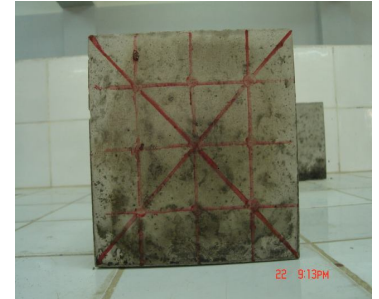


Figure III. 8 : Préparation de la surface de l'essai

III. 4. 1. 3 Modalités des essais :

Éliminer les valeurs aberrantes (trop faible ou trop fortes) ; il existe des règles différentes suivant des organismes qui l'utilisent. Un certain bon sens suffit pour reconnaître la valeur anormale. Selon l'expérience, cette différence est due à l'effet d'un grain de gravier important sous la surface, une barre d'aciers ou un pore dans le béton située aussi sous la surface [18].

III. 4. 2 ULTRASON :

III. 4. 2. 1. Type de mesure (mesure en transparence) :

Utilisée dans le cas des éprouvettes, des poteaux ou de certaines poutres. Le capteur est placé face à l'émetteur ; ce qui fait que la distance entre les centres des sondes (ou bien la distance parcourue par les ondes) est égale à l'épaisseur de l'élément ausculté (figure III .9) .

C'est le type de mesure le plus utilisé et qui fournit plus de précision du temps de propagation des ondes. [21]

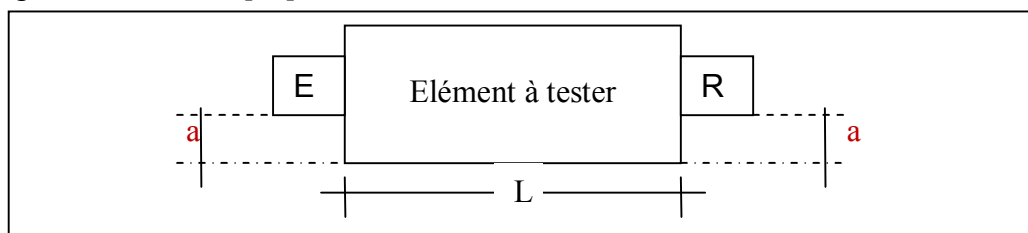


Figure III. 09 Mesures en transparence

III. 4. 2. 2 Nombre nécessaire de points d'essai :

Pour obtenir des résultats représentatifs, et pour que l'estimation de la qualité du béton soit bonne ; le nombre de points de mesure dépend de plusieurs facteurs : tels que :

- Les dimensions de l'élément ausculté ;
- L'accessibilité de l'élément.

D'une façon générale, on admet que pour déterminer la valeur moyenne de la résistance, il faut effectuer au moins une vingtaine de mesures de la vitesse des ultrasons.

On peut minimiser le nombre à 6, si on contrôle des éléments préfabriqués .On peut également diminuer le nombre de mesures dans le cas de l'auscultation d'un élément de petites dimensions. [16]

III. 4. 2. 3 Choix des zones de points d'essais :

Les points d'essai doivent être uniformément répartis sur tout l'élément lorsque c'est possible.

En général, on choisit des sections d'essais et pour chaque section on effectue 2 mesures.

- Prendre en considération le fait qu'il peut y avoir des résistances différentes d'une section à une autre dans le même élément (exemple partie inférieure et supérieure d'un poteau).
- Eviter les zones de mauvaise surface (surface présentant des petites cavités ou des aspérités) ; ainsi que les zones de béton altéré ou humide.
- Eviter les zones traversées par les armateurs principales, ainsi que les zones de concentration des contraintes (section milieu d'une poutre ou section appui par exemple).
- Eviter les zones où il y a présence d'autres matériaux, tels que le bois, la céramique etc.

III. 4. 2. 4 Préparation de la surface des points d'essai :

Avant de faire l'essai de n'importe quel point, on doit :

- Marquer les points de mesures sur la surface de l'élément (particulièrement si on emploie la mesure par transparence pour avoir les deux sondes sur le même axe).



Figure III.10 : Essai ultrasonique

- Enduire la surface de l'élément avec de la vaseline (ou une autre matière qui donne un bon couplage acoustique) sur les points de mesure.
- Assécher la surface de l'élément, si béton est humide. [18].

III.4. 3 Résistance de compression :

On retient pour charge de rupture, la charge maximale enregistrée au cours de l'essai et on calcule la résistance (R) par la relation suivante :

$$R = \frac{F}{A}$$

Où :

F : est la charge maximale (en KN).

A : est la surface de compression de l'éprouvette exprimée en millimètre carré.

R : la résistance à la compression exprimée en MPa.

La résistance caractéristique se définit ainsi :

$$R_{ck} = R_m - K \times S$$

$$R_m = \frac{\sum R}{n}$$

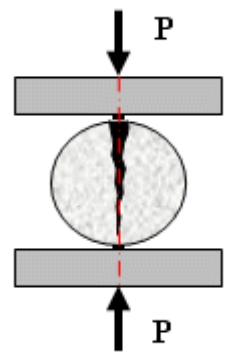
III.4. 4 Essai de Brésilien :

L'essai consiste à écraser un cylindre de béton suivant deux génératrices opposées entre les plateaux d'une presse. Cet essai est souvent appelé "Essai Brésilien". Si P est la charge de compression maximale produisant l'éclatement du cylindre par mise en traction du diamètre vertical, la résistance en traction sera :

$$f_{tj} = 2 \frac{P}{\pi DL}$$

Avec : j = âge du béton (en jours) au moment de l'essai ;

D et L = diamètre et longueur du cylindre.



B. Essai de traction par fendage



Figure III.11: Machine de compression



Figure III.12: Essai de Brésilien

III.4. 4 Essai de traction par flexion :

Les essais les plus courants sont des essais de traction par flexion. Ils s'effectuent en général sur des éprouvettes prismatiques d'élanement 4, reposant sur deux appuis (Fig.III.13):

- soit sous charge concentrée unique appliquée au milieu de l'éprouvette (moment maximal au centre).
- soit sous deux charges concentrées, symétriques, égales, appliquées au tiers de la portée (moment maximal constant entre les deux charges (Fig.III.13).

Au cours de notre travail, on a utilisé une seule charge concentrée.



Figure III.13: Essai de traction par flexion.

Chapitre IV

IV.1 INTRODUCTION :

Ce chapitre consiste à présenter d'une façon globale les résultats obtenus au laboratoire.

A partir de l'application des techniques exposées dans le chapitre précédent. Nous tentons par ces procédures d'évaluer les résistances mécaniques d'un composite préparé à base des déchets de céramique sanitaire.

IV.2. DENOMINATION DES BETONS :

Les bétons qui ont servi lors de l'étude sont les suivants :

Tableau IV.1 : Dénomination des bétons

<i>Dénomination du Béton</i>	<i>Déchets de briques (gravier 8/15)</i>	<i>Gravier (8/15) concassé</i>
B0	0%	100%
B10	10%	90%
B20	20%	80%
B30	30%	70%
B50	50%	50%
B100	100%	0%

Les pourcentages des déchets de brique sont calculés par rapport à la quantité globale du gravier obtenus à partir de l'application de méthode Dreux Gerris (formulation).

IV. 3. LES ESSAIS DESTRUCTIFS :

IV.3.1 La résistance mécanique :

Les résultats de la variation de la résistance mécanique à la compression en fonction de la teneur pondérale en déchets de céramique (gravier) sanitaire sont représentés dans le tableau IV.2 et illustrées graphiquement sur les figures (IV.1 ; IV.2).

Tableau IV.2 : Résultats d'essais de la résistance à la compression (MPa) en fonction de la teneur en gravier artificiel (8/15)

<i>Béton</i> <i>Age</i>	<i>B0</i>	<i>B10</i>	<i>B 20</i>	<i>B30</i>	<i>B50</i>	<i>B100</i>
7	14.15	19.42	21.21	25.04	24.43	21.37
14	20.05	24.84	26.45	28.01	27.23	25.77
28	24.75	30.06	31.81	33.38	33.23	32.65

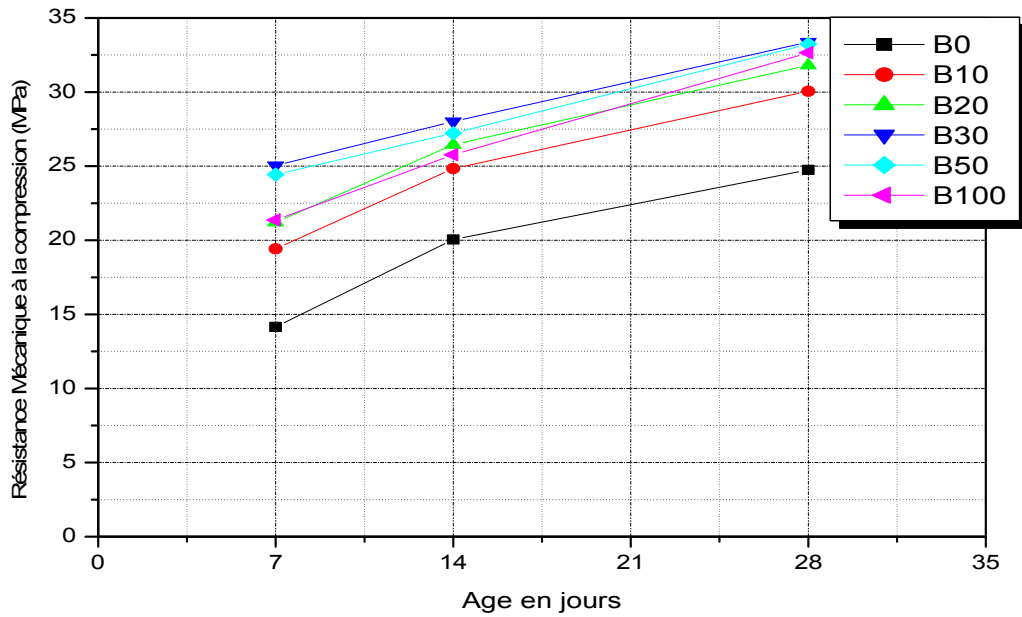


Figure IV.1. : Evolution de la résistance mécanique à la compression (MPa) en fonction de l'âge

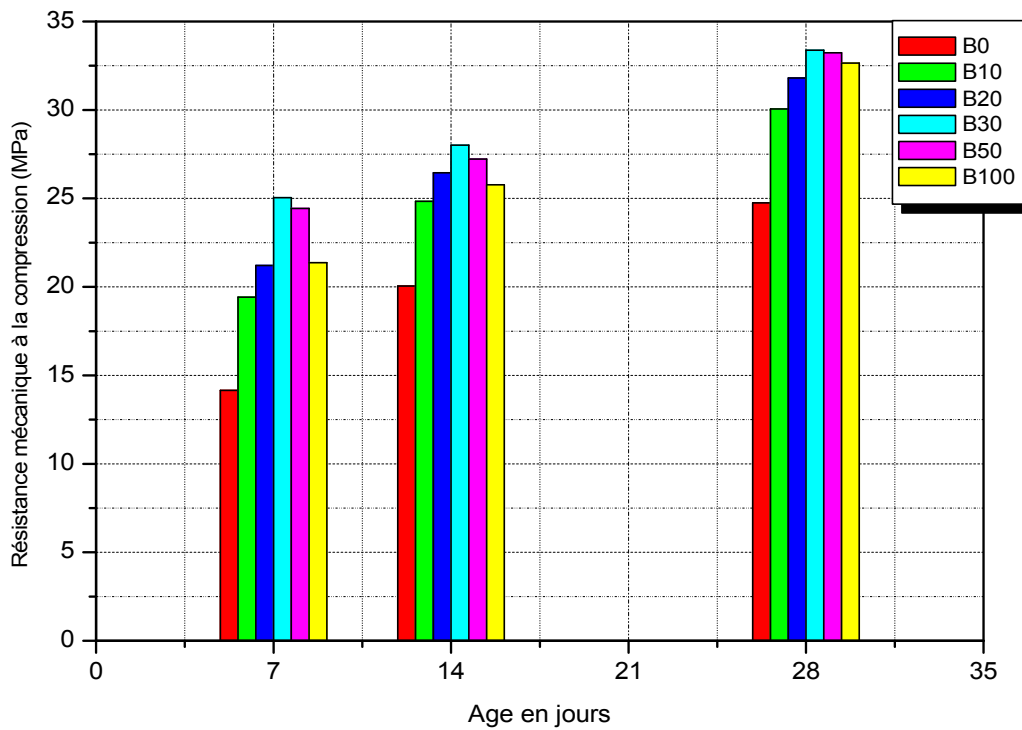


Figure IV.2. : La comparaison entre les différents bétons au même âge (Paramètre : Résistance mécanique à la compression)

Remarque :

- La tendance vers une valeur maximale de la résistance mécanique à la compression se confirme pour le béton B30 (30% déchets de céramique et 70% de gravier concassé de carrière) ;
- Les bétons confectionnés à base de gravier binaire (8/15) (Gravier concassé de carrière et gravier de déchets de céramique) ont des résistances mécaniques supérieures à celles d'un béton témoin (B0 : 100% de gravier concassé de carrière) pour toute la période d'essai (quel que soit l'âge d'essai) ;
- La résistance mécanique augmente proportionnellement avec teneur en gravier artificiel jusqu'à une valeur égale à 30%. Au-delà de cette valeur, elle diminue avec l'incorporation progressive du gravier artificiel (déchets de céramique).
- Les résistances mécaniques croient en fonction de l'âge du composite quel que soit la teneur en gravier artificiel (Déchets de céramique);

Commentaires :

Les résultats obtenus montrent d'une façon pratique que l'augmentation de la teneur en gravier (plus de 30%) entraîne une diminution des résistances mécaniques. Ceci, peut être expliqué par le fait que les composantes chimiques de ce gravier (déchets de céramique) influent directement et négativement sur la vitesse de mécanisme d'hydratation ce qui réduit la quantité des hydrates. De plus, elle entraîne l'intensification du processus de destruction des liaisons covalentes.

En effet, la diminution de la résistance est due à un manque de formation d'hydrates surtout le silicate de calcium hydraté (CSH), sur lesquels se base la solidité des composites cimentaires à base de granulats naturels et artificiels [23]. Donc, la durée d'hydratation augmente proportionnellement avec la quantité de l'eau de gâchage. Par ailleurs, l'eau libre engendre des pores dans le béton. Ces vides font la divergence entre les particules des hydrates et ne laissent pas l'attachement rapide entre eux. Au fur à la mesure, les pores se vident progressivement en héritant des vestiges qui entraînent une isolation entre les hydrates formés.

Mais en ce qui concerne l'augmentation de la résistance à la compression engendrée avant 30% est due à l'augmentation de calcite (voir tableau VI.3) et l'oxyde d'aluminium (voir tableau VI.2) qui sont faciliteront la granulation et augmenteront la quantité (pouvoir) hydraulique. Ainsi, la présence de l'oxyde de fer dans les différents bétons préparés à base de

gravier artificiel soit négligeable. Donc, l'hydratation du gravier artificiel conduit à sa dissolution et à sa précipitation : C-S-H.

Enfin, on peut conclure que les composantes chimiques et la composition granulométrique sont les principaux paramètres qui influent sur le comportement mécanique du composite testé. Il s'avère donc d'après ce qu'on vient de voir que la meilleure solidité des hydrates est enregistrée pour une teneur en gravier artificiel égale à 30%.

Tableau IV.3 : Analyse chimique des bétons formulés

Constituants Nom de l'échantillon	SiO₂ (%)	Al₂O₃ (%)	Fe₂O₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO₃ (%)	K₂O (%)	Na₂O (%)
B0	28.64	1.96	0	50.32	1.23	1.36	0.52	0.06
B10	24.71	2.23	0	49.83	1.16	1.24	0.51	0.07
B20	24.34	2.56	0	49.52	1.14	1.16	0.55	0.07
B30	19.48	2.96	0	49.8	1.1	1.05	0.51	0.07

Tableau IV.4 : Analyse minéralogique des bétons formulés

Constituants Béton	R_w %	Alite_M3 %	Alite_M1 %	Alite_Sum %	Fraction_M1 %	Alite_CS Nm	Belite_beta %
B 0	6.37	0.66	0.88	1.54	57.39	151.38	1.63
B10	6.292	0.25	0.5	0.74	66.84	1000	1.16
B20	6.983	0.11	0.61	0.73	84.26	199.92	0.89
B30	6.711	0.07	0.14	0.21	68.28	1000	1.12

Suite –Tableau VI.4

Alum_cubic %	Alum_ortho %	Alum_Sum %	Ferrite %	Lime %	Portlandite %	fCaO_XRD %
0.11	0.08	0.19	1.87	0.01	2.82	2.14
0.14	0.02	0.16	1.68	0	2.52	1.91
0.02	0.23	0.25	1.49	0.01	2.41	1.83
0.24	0.13	0.37	1.06	0	1.84	1.4

Suite –Tableau VI.4

Periclase %	Quartz %	Arcanite %	Langbeinite %	Aphthitalite %	Gypsum %	Hemi-hydrate %
0.07	37.38	1.39	0.82	0.25	0.58	0.04
0.04	33.14	1.3	0.66	0.31	0.71	0.12
0.01	35.05	1.5	0.62	0.37	0.46	0
0.1	23.57	1.21	0.14	0.29	0.33	0.06

Suite – Tableau VI.4

Anhydrite %	Calcite %	SO ₃ _XRD %	CO ₂ _XRD %	Goergeyite %	Syngenite %	Ettringite %
0	47.96	1.48	21.09	1.79	1	0.7
0.04	53.32	1.53	23.45	1.83	1.03	1.21
0.14	51.88	1.5	22.81	2.19	0.83	1.18
0.12	66.62	1.03	29.29	1.59	0.5	0.86

IV.3. 2 La résistance mécanique à la traction par flexion :

Les résultats obtenus dans cette étape sont représentés dans le tableau IV.5 et illustrés graphiquement sur les figures (IV.3 ; IV.4).

Tableau IV.5 : Résultats d'essais de la résistance à la traction par flexion (MPa) en fonction de la teneur en gravier artificiel (8/15)

Béton Age	B0	B10	B 20	B30
7	6.12	6.52	6.42	6.12
14	6.52	6.79	8.52	6.22
28	7.50	6.93	9.12	6.32

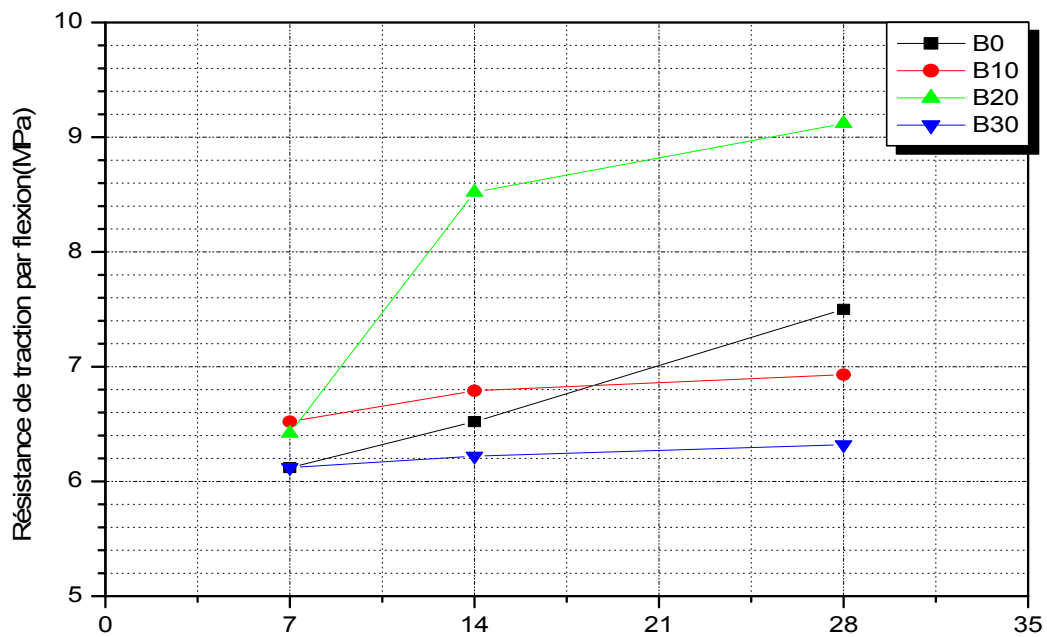


Figure IV.3. : Evolution de la résistance mécanique à la traction par flexion (MPa)

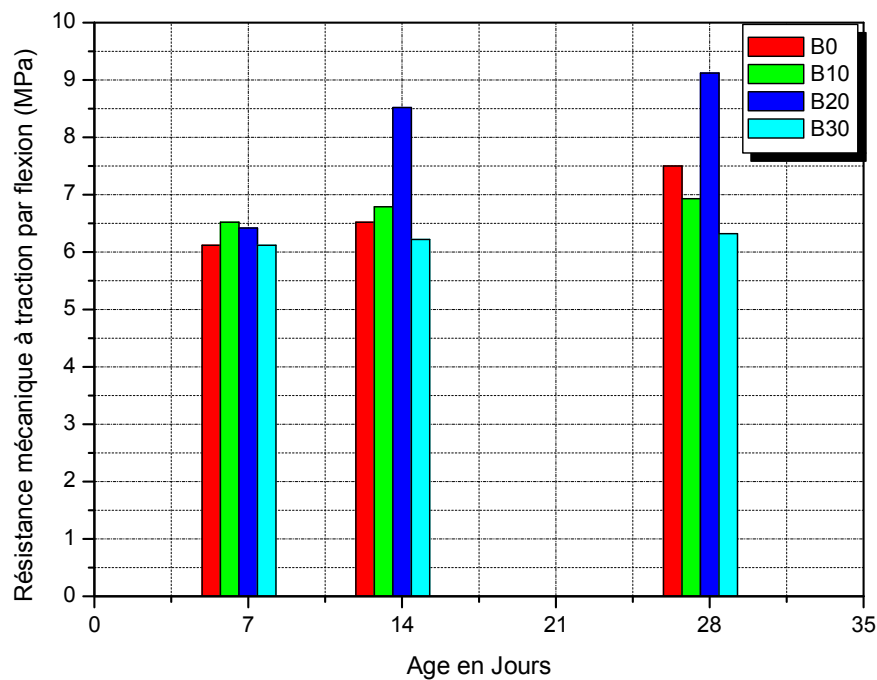


Figure IV.4 : La comparaison entre les différents bétons au même âge
(Paramètre : Résistance mécanique à la traction par flexion)

Remarque :

- Les valeurs les plus élevées de la résistance à la traction par flexion sont obtenues pour une teneur égale à 20% (B20).
- Les valeurs de traction par flexion pour le béton témoin sont plus élevées généralement par rapport à celles obtenues pour les bétons B10 et B30.
- La résistance à la traction par flexion augmente avec l'augmentation de la durée de conservation pour les quatre bétons.

Commentaires :

La résistance à la traction par flexion d'une composite donne une idée sur l'importance de solidité (densité) des hydrates. Donc, elle augmente proportionnellement avec la teneur en gravier artificiel jusqu'à une valeur égale à 20%. Au-delà de cette valeur, la résistance à la traction par flexion diminue avec l'incorporation progressive du gravier artificiel. Ceci, peut être expliqué par le fait que les aiguilles des hydrates du composite densifié à cause de l'augmentation de la quantité de K_2O d'une part et la diminution de l'Alite_CS et le Belite_beta d'autre part. Par contre, la densification des aiguilles des hydrates est augmenté la solidité qui due à l'augmentation de la résistance à la compression.

IV.3.3 Résistance par fendage :

Pour la confirmation des résultats qui ont été obtenus par l'essai de traction par flexion, on a préparés des autres échantillons du béton.

Les résultats obtenus dans cette étape sont représentés dans le tableau IV.6 ci-dessous et illustrés graphiquement sur les figures (IV.5 ; IV.6).

Tableau IV.6 : Résultats d'essais de la résistance par fendage (MPa) en fonction de la teneur en gravier artificiel (8/15)

<i>Béton</i>	<i>B0</i>	<i>B10</i>	<i>B 20</i>	<i>B30</i>
<i>Age</i>				
7	2.04	2.56	2.88	2.69
14	2.71	2.69	2.90	2.88
28	2.44	3.02	3.11	2.98

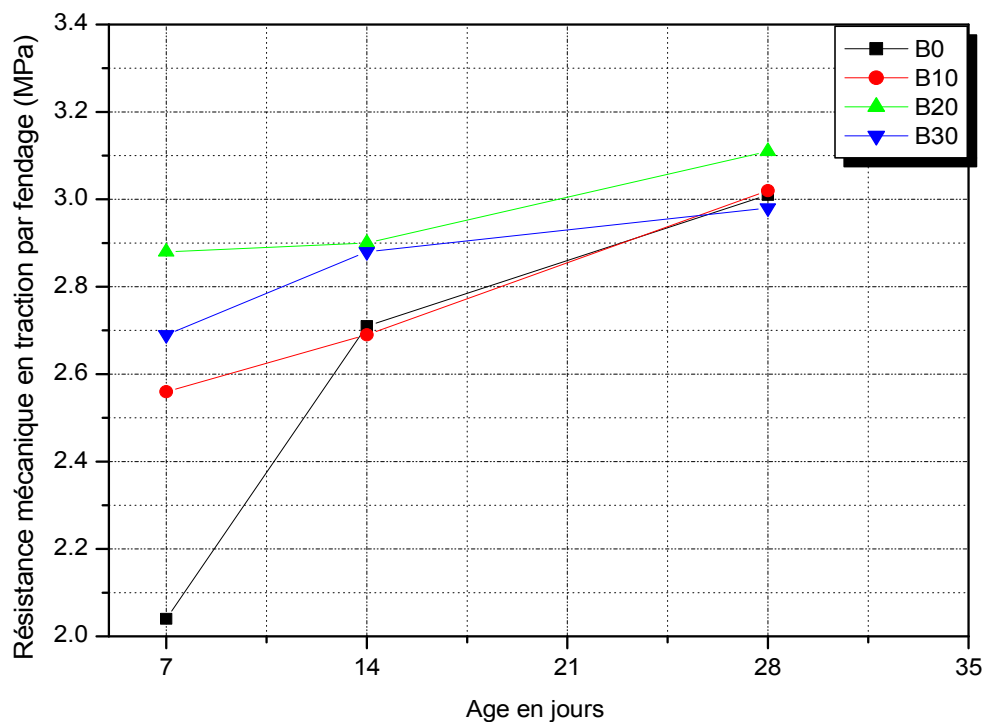


Figure IV.5. : Evolution de la résistance mécanique en traction par fendage (MPa) en fonction de l'âge

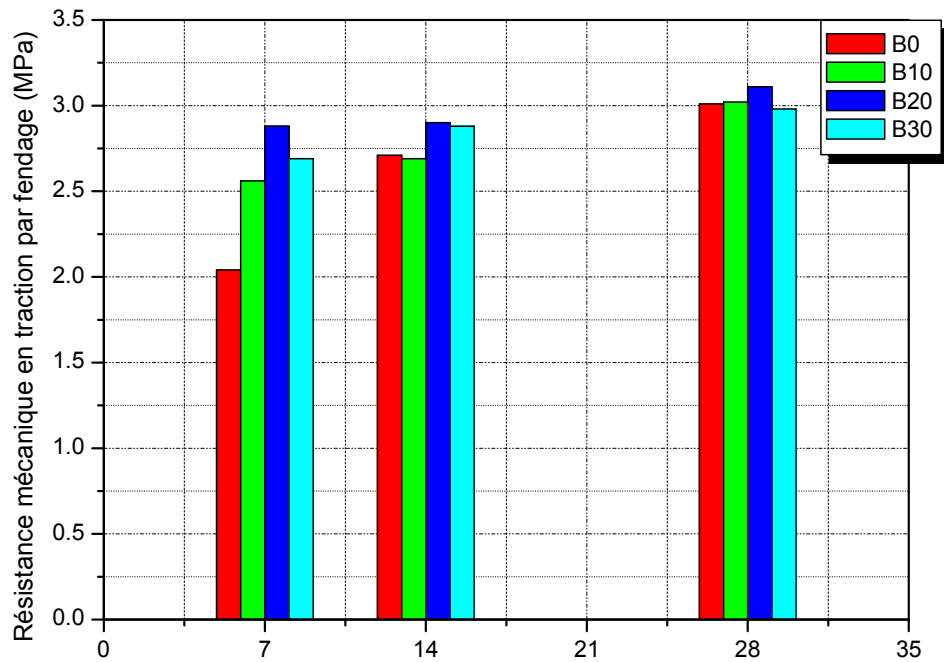


Figure IV.6 : La comparaison entre les différents bétons au même âge
(Paramètre : Résistance mécanique en traction par fendage)

Remarque :

- La résistance en traction par fendage augmente proportionnellement avec teneur en gravier artificiel jusqu'à une valeur égale à 20%. Au-delà de cette valeur, elle diminue avec l'incorporation progressive du gravier artificiel.
- Les résistances mécaniques croient en fonction de l'âge du composite quel que soit la teneur en gravier artificiel ;

Commentaires :

Il est intéressant de remarquer que ces résultats sont accords avec ceux obtenus par l'essai de traction par flexion. Ceci, peut expliquer par les mêmes causes qui ont été discuté auparavant.

IV. 4 LES ESSAIS NON DESTRUCTIFS :

L'intérêt principal de cette partie a pour but de conformer les résultats qui ont été obtenu par l'essai destructif (résistance à la compression) d'une part et pour avoir une idée sur la structure interne des différents composites formulés d'autre part.

a. Essai sclérométrique :

Pour chaque élément mis en cause .il faut procéder à neuf (9) mesures dans des points répartis le plus uniformément possible sur sa surface. On considère ici la valeur de l'indice sclérométrique « I » comme la moyenne arithmétique de sept (7) mesure (on ne tient pas compte des deux valeurs extrêmes la plus grand et la plus petite).

$$I_{mi} = \frac{\sum I}{n}$$

n : Nombre des essais.

$$I_m = \frac{\sum I_{mi}}{3}$$

$$S = \sqrt{\frac{(I_m - I_{mi})}{n}}$$

$$I_c = I_m - 1.28 \times S$$

b. Essai ultrasonique :

$$V = \frac{L}{T}$$

V : Vitesse de propagation du son (m/s).

L : Largeur de l'éprouvette.

T : Le temps de propagation du son(s).

Les résultats obtenus dans cette étape sont représentés dans le tableau IV.7 ci-dessous et illustrés graphiquement sur la figure IV.7.

Tableau IV.7 : Résultats d'essais de la résistance combiné

<i>Béton</i>	<i>B20</i>	<i>B30</i>	<i>B 50</i>	<i>B100</i>
<i>Age</i>				
+28	28.52	29.94	28	21.39

NB

1- Pour déterminer la résistance combinée on a utilisé la méthode de FERET [24]:

$$f_c = \left[\frac{N}{3.64 + 0.023N - 0.56V} \right]^2$$

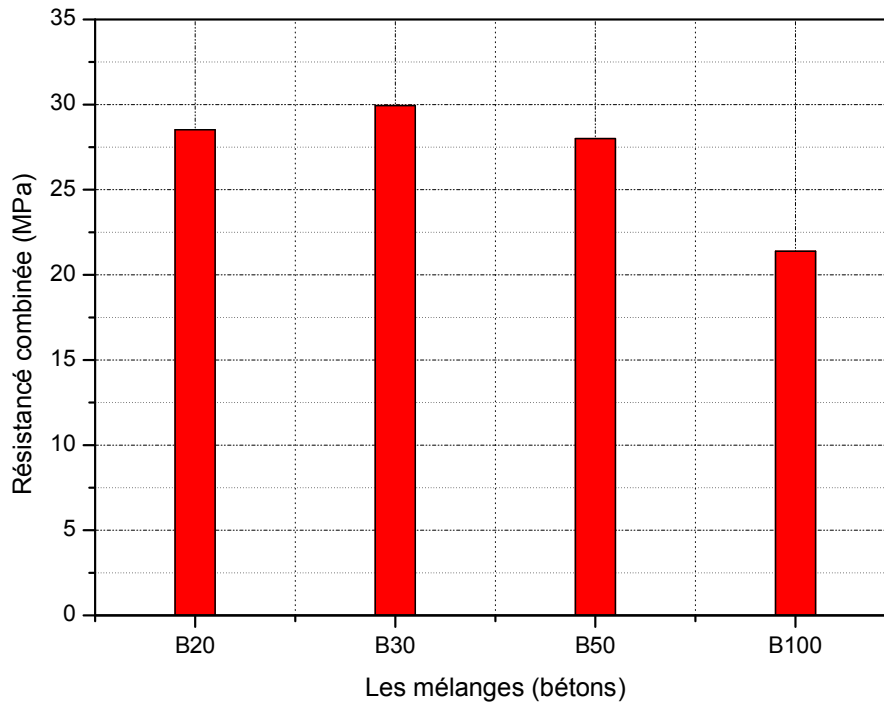


Figure IV.7 : La comparaison entre les différents bétons au même âge
(Paramètre : Résistance combinée)

Remarque :

- Il y a une nette corrélation entre la résistance à l'écrasement, la vitesse de propagation et l'indice sclérométrique de telle sorte que les dernières variables augmentent avec le gravier artificiel.
- Cette corrélation est bien remarquée surtout pour les essais effectués à l'âge de 28j. Ce qui explique que les essais de contrôle par CND s'appliquent pour un béton assez au delà de 28j.
- Nous pouvons faire remarque à cet effet que l'échéance qui nous est permise, nécessite des échéances plus courtes

Il est intéressant de remarquer que ces résultats sont accorts avec ceux obtenus par les essais destructifs.

IV.5 MASSES VOLUMIQUES :

La masse volumique du béton a été évaluée par la formule suivante.

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{V}$$

m_2 : La masse volumique du moule rempli du béton compacte.

m_1 : La masse volumique du moule vide.

V : Le volume du moule cubique ($15 \times 15 \times 15$) cm^3

Nous notons que pour chaque composition, la masse volumique représente la moyenne de trois mesures.

Les résultats obtenus dans cette étape sont exprimés dans le tableau IV.8 et représenté sur la figure IV.8.

Tableau IV.8 : La masse volumique des bétons à l'état durci (g/m^3)

Béton \ Age	B0	B10	B 20	B30	B50	B100
7	0.38	1.09	2.04	2.1	3.3	2.1
14	2.2	2.2	2.22	1.66	2.37	1.99
28	3.2	2.96	2.57	1.99	2.07	1.66

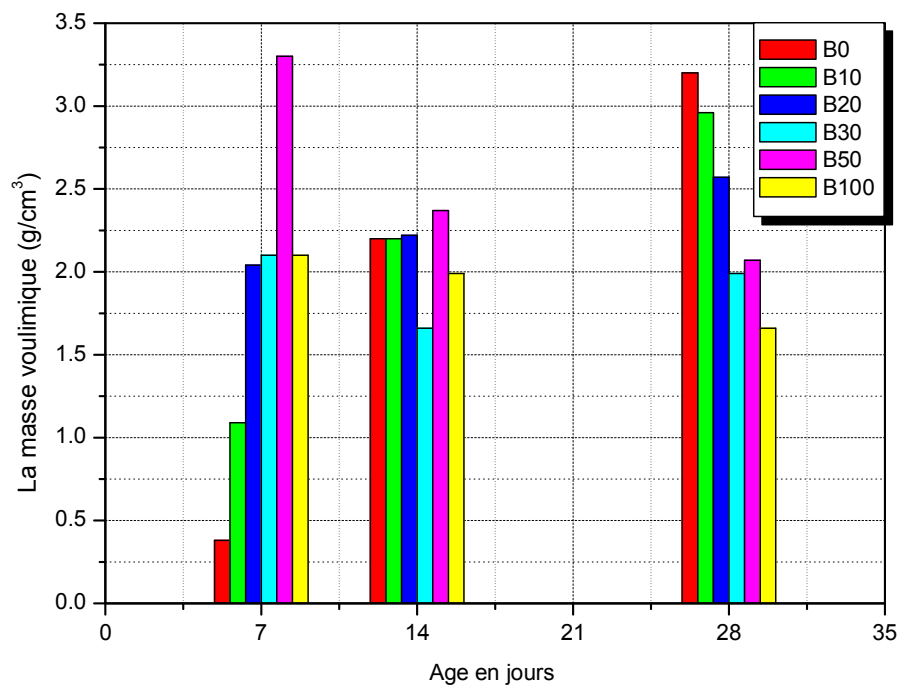


Figure IV.8 : La comparaison entre les différents bétons au même âge (Paramètre : Masse volumique)

Remarque :

- ❖ La tendance vers une valeur maximale de la masse volumique est pour un pourcentage de gravier artificiel égal à 10% (à l'âge 28jours) ;
- ❖ Un grand écart de résultats entre le béton B0 et le B50 pour l'âge de 7jours ;
- ❖ La masse volumique diminue avec l'augmentation du pourcentage de gravier artificiel et atteint une valeur minimale égale à 1.66 pour le béton confectionné sans granulats naturel à l'âge 28jours.

Commentaires :

La baisse de la masse volumique du béton, est liée à l'augmentation de l'entraînement d'air dans la matrice, qui augmente avec la teneur en gravier concassé. Par ailleurs, les variations de densité des constituants du granulat jouent un rôle important pour le poids du béton.

Les résultats obtenus montrent d'une façon pratique que l'utilisation des granulats concassés influe considérablement sur le poids du béton, mais aussi sur leur structuration.

D'abord parce qu'ils évaluent que l'effet morphologique du granulat joue un rôle très important sur la masse volumique du béton.

IV. 6 ANALYSES AUX RAYONS X

Les analyses aux rayons X ont été réalisées sur quelques échantillons préparés pour cette étude sous forme hydratés.

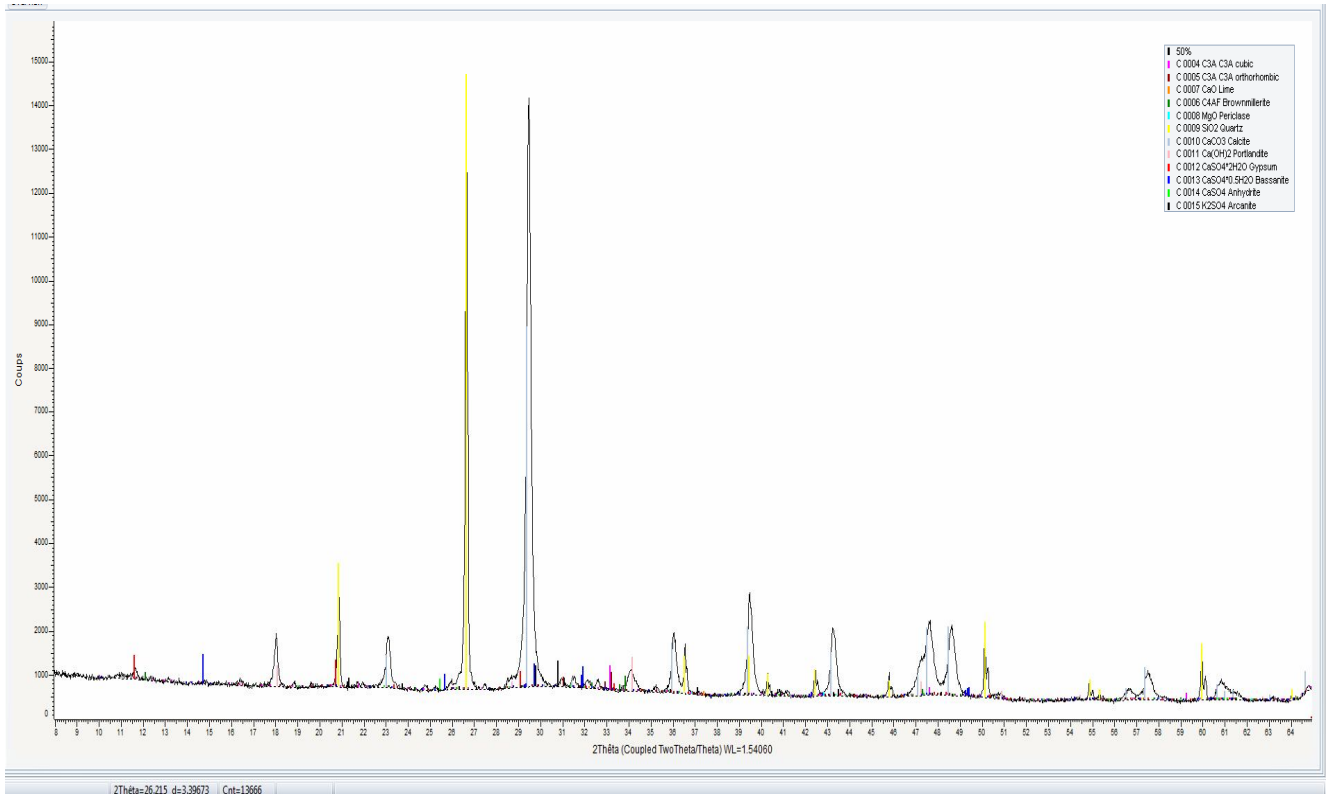


Figure IV.9 : Diagramme de diffraction X- B50

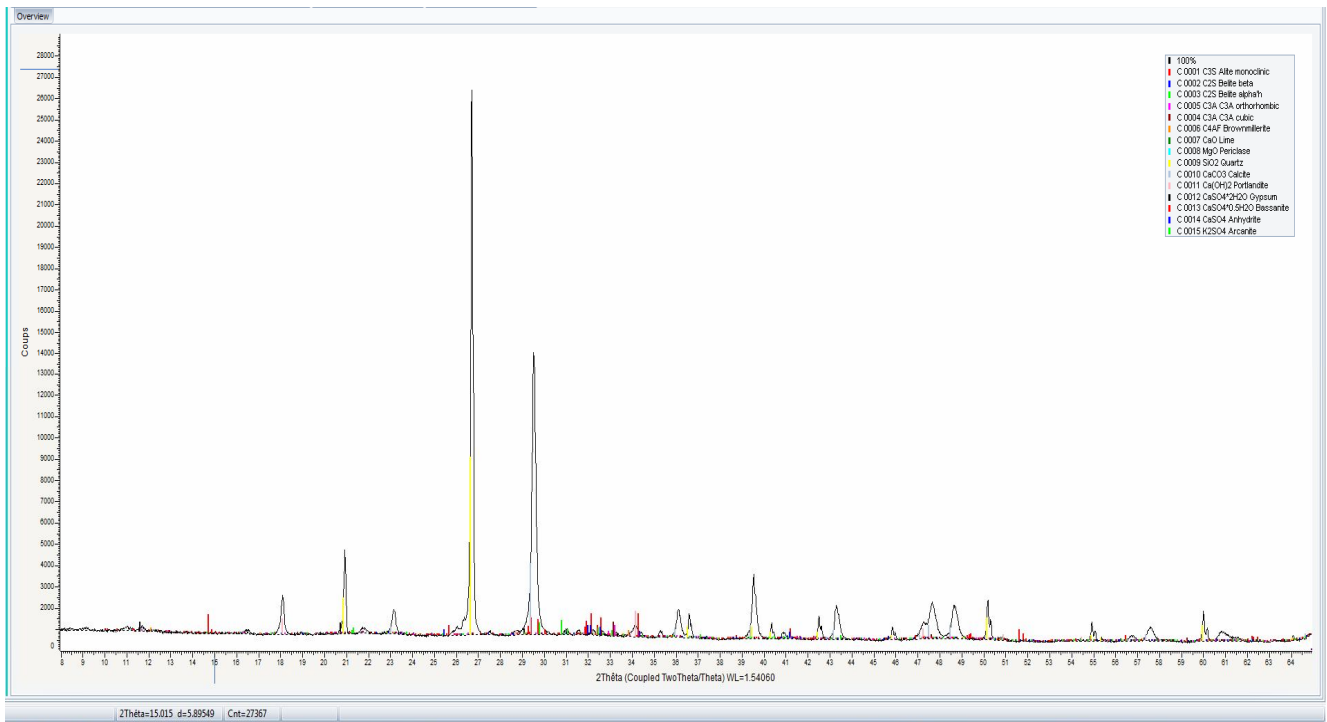


Figure IV.10: Diagramme de diffraction X- B100

L'analyse des différents mélanges a permis de mettre en évidence les minéraux classiques d'une matrice cimentaire notamment Alite, Belite, Ferrite, Quartz et Dolomite.

En faisant une comparaison entre ces minéraux, on constate que la quantité de : Alite, Belite, Ferrite, Quartz et Dolomite varie en fonction la quantité du gravier artificiel. Ceci est accompagné par une importante augmentation de résistance à la compression. ***Il est intéressant de remarquer une autre fois que ces résultats sont accorts avec ceux obtenus par les essais destructifs.***

CONCLUSION GENERALE :

Les travaux présentés concernent l'élaboration d'un nouveau type de composite cimentaire, à base de gravier artificiel (déchets de céramique); consistant à évaluer l'influence de ce gravier sur les propriétés physico-mécaniques, à des teneurs pondérales de 0, 10, 20, 30, 50 et 100%.

Après une identification expérimentale de différentes teneurs en gravier artificiel (8/15) et leur effet sur la masse volumique ainsi que sur les résistances mécaniques, nous pouvons formuler les conclusions suivantes :

- La réduction de la quantité d'eau de gâchage permettrait d'avoir la même maniabilité que le matériau de référence, et d'améliorer, en conséquence, les résistances à la compression ;
- D'une manière générale la masse volumique diminue avec l'incorporation progressive des déchets de céramique;
- La tendance vers une valeur minimale de la masse volumique est enregistrée pour une teneur en déchets de céramique égale à 100% (à 28jours). Un allègement du composite de l'ordre de 48.13%. Malgré une baisse significative de la résistance à la compression, les valeurs restent compatibles avec l'utilisation du composite comme isolant porteur;
- Les résistances mécaniques croient en fonction de l'âge du composite quel que soit la teneur en gravier artificiel;
- Le composite, correspondant à une teneur de 30% en gravier artificiel (déchets de céramique), a des résistances mécaniques supérieures à celle d'un composite témoin (Béton-B0). Le taux d'accroissement le plus élevé à 28 jours obtenu est :
 - 34.87% pour la résistance à la compression;
- La résistance mécanique à la traction par flexion augmente avec l'augmentation de la teneur en déchets de céramique jusqu'à une teneur pondérale égale à 20%, au-delà de cette teneur, elle diminue avec l'incorporation progressive des déchets de céramique avec un gain de 21.6%.

Enfin, d'après le peu d'information dont on dispose, la plupart de nos entreprises de construction n'accordent aucun intérêt à l'utilisation des graviers artificiels. Cela est du, sans doute, à leurs ignorances des effets bénéfique de l'utilisation des graviers artificiels dans le dans le béton notamment sa résistance et par conséquent sa durabilité. Pour remédier à ce problème, il faut déployer tous les efforts possibles et beaucoup d'énergie dans le domaine de l'information

scientifique afin que les bonnes pratique dans le domaine du bétonnage soit suivies et d'améliorer, en conséquence, la qualité du béton préparé dans notre pays.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [01] : « **Les Granulats légers** » Techniques de l'ingénieur, Date de publication : 01/12/2004
- [02] : « **Les granulats courants** » Techniques de l'ingénieur, Date de publication : 01/12/2004
- [03] : **A. BARKAT** « Valorisation des déchets de brique dans la réalisation des ouvrages en béton », Thèse de Magister, Université de Ouargla, Algérie, 05/11/2006.
- [04] : **S. W. Parr, T. R. Ernest** «A Study of Sand-Lime Brick/ Une étude de briques silico-calcaires », **Bulletin N° 18** , Illinois 1912.
- [05] : **L. Baali** « Cours 2^{ème} MDC Licence » 2015
- [06] : **Cherait Yacine, Nafa Zahredinne** « **Les Granulats** »- Eléments de matériaux de construction et essais, Office des publications universitaires, Imprimerie régionale de Constantine, 2007, ISBN9961-9548-7-4, pp : 1-56
- [07] : **LAMTIGUI Abdelaziz, BENDANI Youssef** « Valorisation des laitiers d'aciéries en Génie Civil », Etude Bibliographique, 2014
- [08] : **Robert LEROY, Leda DIMITRIADI** « Recyclage des déchets du chantier », école normale supérieure d'architecture, Paris-Malaquais
- [09] : « **Valorisation des déchets minéraux de chantier** », Fiche d'information GESDEC N°5, 2009.
- [10] : **Mehdi CHEIKH ROUHOU** «Les déchets de chantier et le recyclage des matériaux dans le secteur du bâtiment », Mémoire de fin de formation, 26/01/2007.
- [11] : **Paul O. Awoyera , Julius M. Ndambuki, Joseph O. Akinmusuru, David O. Omole** « Characterization of ceramic waste aggregate concrete » HBRC Journal, 2006
- [12]: **Fernando Pacheco-Torgal, Said Jalali** « Compressive strength and durability properties of ceramic wastes based concrete», Materials and Structures, Doi 10.1617/s11527-010-9616-6, 21/04/2010.
- [13]: **Hemanth Kumar Ch, Ananda Ramakrishna K, Sateesh Babu K, Guravaiah T, Naveen N, Jani Sk** «Effect of Waste Ceramic Tiles in Partial Replacement of Coarse and Fine Aggregate of Concrete» International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology Vol. 2, Issue 6, June 2015
- [14] : **Recueil de normes françaises – AFNOR** , Béton et constituants du béton , Paris 1991
- [15] : **Georges DREUX et Jean FESTA** « Nouveau guide du béton » Edition Eyrolles 1995.
- [16] : **A. KOMAR** « Matériaux et éléments de construction » -MIR-moscou URSS-1978
- [17] : **Zein –Eddine Boudaoud** « étude des mortiers, micro-bétons de sable à base de sable de Bou Saâda » thèse de magister –le 07/06/1993 –M'sila
- [18] : **Francis GORISSE** « essais et contrôle des bétons » Edition Eyrolles. Paris 1978.
-

- [19] : **Valérie Thourd, Luc Laumailleur, Catherine Lattuca, Julie rochette, Pascal Sarfati** « Construire avec les bétons » Edition du Moniteur . Paris 2000.
- [20] : **R. Dpain, R. Lahchon et J.C. Saint Arroman** « GRANULATS, SOLS, CIMENT ET BETONS» 2^{ème} édition conforme aux normes européennes, educalivre.
- [21] : **SAKHRAOUI. Said, MOUFFOK. Linda et ALIANE. Yasmina** « Contrôle du béton arme par des essais Non destructifs » C.N.E.R.I.B, Cycle de formation 2004.
- [22] : **site d'internet** « thesis.univ-biskra.dz/1105/5/Chapitre%2003.pdf »
- [23] : **N. Arab** « Substitution de la chaux par le laitier granule de Sider pour la fabrication des briques silico-calcaire »- Séminaire National de Génie Civil 16 et 17 Novembre1997, M'sila.
- [24] : **SAKHRAOUI. Said, MOUFFOK. Linda et ALIANE. Yasmina** « Contrôle du Béton Arme par des Essais Non Destructifs » C.N.E.R.I.B, CYCLE DE FORMATION 2004.
- 25] **Michel F.**, « les granulats-Industrie, Géologie et Environnement », UNICEM, 2004, Disponible sur : <http://www.unicem.fr/fr/documentaire/pdf/granulats.pdf>,
- [26] **Ramachandran V. S** « Utilisation des déchets et Sous-produit comme granulats du Béton » Conseil National de recherches Canada, 2004 -<http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/cbd/cbd215f.html>,
-