

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE : THECNOLOGIE

DEPARTEMENT : Génie Civil

N° :



جامعة محمد بوضياف - المسيلة
... Université Mohamed Boudiaf - M'sila

FILIERE : Génie civil

OPTION : MATERIAUX

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master**

Par: BOUZOUAOU SIFEDDINE

**Confection d'un béton ordinaire avec des
déchets de céramique sanitaire**

Soutenu devant le jury composé de:

NOM et Prénom	Grade	Qualité
BIBI Mekki	Professeur	Président
BOUALLEG Saida	Docteur	Examineur
CHIKOUCHE Mohamed AZIZ	Docteur	Encadreur
BAALI Laid	Docteur	co Encadreur

Année universitaire : 2021 / 2022

FACULTE : THECNOLOGIE

DEPARTEMENT : Génie Civil

N° :



FILIERE : Génie civil

OPTION : MATERIAUX

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master**

Par: BOUZOUAOUI SIFEDDINE

**Confection d'un béton ordinaire avec des
déchets de céramique sanitaire**

Soutenu devant le jury composé de:



NOM et Prénom	Grade	Qualité
BIBI Mekki	Professeur	Président
BOUALLEG Saida	Docteur	Examineur
CHIKOUCHE Mohamed AZIZ	Docteur	Encadreur
BAALI Laid	Docteur	co Encadreur

Année universitaire : 2021 / 2022



REMERCIEMENT

Tout d'abord, je remercie Dieu Tout-puissant qui nous a comblés de son innombrable bénédiction, nous a accordé sa subsistance inépuisable et a illuminé nos chemins. A' lui soient louanges et remerciements.



Et merci Messenger de Dieu, Mohammed bin Abdullah, sur lui soit la plus pure des prières et la plus pure des salutations, qui nous exhorte à chercher la connaissance partout où elle se trouve. Merci à chaque enseignant qui nous a fourni ses connaissances depuis les premières étapes de l'école jusqu'à aujourd'hui. J'adresse également un mot de remerciement et de gratitude au Dr. « Mohamed aziz chikouche » superviseur qui m'a donné son temps et ses efforts pour terminer ce recherche modeste.

Je remercie les professeurs de formation sur le terrain qui ne m'ont pas épargné leurs conseils et leurs orientations, « Guelil Abdelmadjid », Je remercie également le Dr . « Saoudi Fatiha », qui m'a accueilli dans son bureau et m'a aidé à traiter mes recherches. Et le Dr « Wahiba », le laboratoire directeur, pour m'avoir aidé et soutenu pendant le travail.

J'ex prime ma gratitude à ma famille qui m'a soutenu dans chaque décision que j'ai prise et à chaque instant où j'en avais besoin, et je remercie tous mes amis et tout ceux qui m'ont soutenu et aidé de près ou de loin.

Enfin, je tiens à remercier cette université, qui m'a fait découvrir des personnes et des cultures que je n'aurais connues nulle part ailleurs

Merci beaucoup





Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

A mes chers parents:

Que dieu les protège les protège, pour leurs soutiens,
sacrifices, et pour leur inépuisable amour.

À toute ma famille

A tous mes amis

Pour leurs encouragements, et pour les moments inoubliables
que nous avons passés ensemble.

A tous ceux qui, par leurs contributions actives et bénévoles,
nous ont aidé de près ou de loin à réaliser de ce travail.

SOMMAIRE

Sommaire

Résumé	4
Introduction générale	4
Chapitre I : Les granulats dans le béton	4
I-1-Introduction	5
I-2-Définition	5
I-3-Granularité	5
I-3-1- Les fillers	5
I-3-2- Les sablons	6
I-3-3- Les sables	6
I-3-4- Les graves	6
I-3-5- Les gravillons	6
I-3-6-Ballasts	6
I-4- Origine	6
I-4-1-Les granulats naturels	7
I-4-1-1- Origines des granulats naturels	7
I-4-2- Les granulats artificiels	7
I-4-3- Les granulats recyclés	7
I-5-Techniques de fabrication	8
I-5-1-Découverte ou décapage	8
I-5-2- L'extraction	8
I-5-3- Le transfert vers les centres de traitement	8
I-5-4-Fabrication	8
I-5-4-1- Concassage	8
I-5-4-2- Criblage	10
I-5-4-3- Le lavage	10
I-5-4- Stockage et livraison	11
I-6-Les caractéristiques de granulats	11
I-6-1-Caractéristiques géométriques	11
I-6-1-1-Granulométrie	11
I-6-1-2-Module de finesse	12
I-6-1-3-Coefficient d'aplatissement	13
I-6-2-Caractéristiques physicochimiques	13
I-6-2-1-La masse volumique	13
I-6-2-2-Porosité et compacité	14
I-6-2-3-L'absorption	14
I-6-2-4-Teneur en eau	14

I-6-2-5-Foisonnement	14
I-6-3-Caractéristiques mécaniques	15
I-6-3-1-Résistance à l'usure et aux chocs	15
I-7-Influence des caractéristiques de granulats sur les propriétés des matériaux cimentaires	16
Chapitre II: valorisation des granulats recyclés dans Les béton	20
II-1-Les déchets	21
II-1-1-Définition	21
II-1-1-1-Approche juridique	21
II-1-1-2-Approche économique	21
II-1-1-3-Approchesociologique	21
II-1-2- Les différent types des déchets	21
II-1-2-1-Classification en fonction de l'origine des déchets	21
II-1-2-2- Classification en fonction des sources des déchets	22
II-1-3- La gestion des déchets	23
II-1-3-1- La collecte	24
II-1-3-2- Le recyclage	24
II-1-3-2- L'élimination	25
II-2- Les déchets dans le génie civil	<i>Error! Bookmark not defined.</i>
II-2-1-Le laitier de haut fourneau	<i>Error! Bookmark not defined.</i>
II-2-1-1-Le laitier cristallisé	<i>Error! Bookmark not defined.</i>
II-2-1-2-Le laitier vitrifié	27
II-2-1-3-Le laitier bouleté	27
II-2-2-Mâchefer	28
II-2-3-Le verre	30
II-2-4-déchets de pneu usagé :	30
II-2-5-Les déchets céramiques	31
Chapitre III : Essais et résultats	34
III-1-Introduction	35
III-2-Les matériaux utilisés	35
III-3- Caractérisation des matériaux utilisés	36
III-3-1-Les sables	36
III-3-1-1-La masse volumique, porosité et indices des vides (NF P 18-555)	36
III-3-1-3-La teneur en eau (NF P 18-555)	38
III-3-1-4-Analyse granulométrique (NF P 18-560)	39
III-3-1-2-Equivalent de sable (NF P 18-598)	40
III-3-2-Le gravier	41
III-3-2-1- La masse volumique absolue	41
III-3-2-2-La masse volumique apparente	41
III.3.2.4. Teneur en eau NF P 18-555	42
III-3-2-4-Analyse granulométrique	43
III.3.2.6. Essai de résistance au choc (Essai Los Angeles) NF P 18-573	44
III-3-3- Caractéristiques du ciment utilisé (CEMI MOUKAWIM)	45
III-3-4- Eau de gâchage	45
III-4-Formulation du béton	45

III-4-1-Malaxage des bétons	46
III-4-2-Confection Des Éprouvettes	47
III-4-3-Moulage et démoulage	47
III-5-Essai Sur béton frais	47
III-5-1-Affaissement au cône d'Abrams (NF P18-451)	47
III-6-Essais sur béton durci	48
III-6-1-La masse volumique	48
III-6-2-Résistance à la compression	49
III-6-3- Essai au scléromètre	50
III-6-4-Retrait	51
III-6-5- Essai d'absorption par immersion	52
III-6-6- l'absorption capillaire	53
Conclusion générale	54

Liste Des Figures

Fig. I. 1 Les familles de granulats.....	5
Fig. I. 2 Les différents types de granulat.....	6
Fig. I. 3 Transfert des roches.	8
Fig. I. 4 Opération de concassage.	8
Fig. I. 5 Concasseurs à mâchoires.....	9
Fig. I. 6 Concasseurs à percussion.....	9
Fig. I 7 Concasseurs giratoires.....	10
Fig. I 8 Concasseur à cylindre.....	10
Fig. I. 9 .Cribleur rotatif.....	10
Fig. I. 10 . Cribleur vibrant.....	10
Fig. I. 11. Opération de lavage.	11
Fig. I. 13 Silo pour stockage	11
Fig. I. 12 Stockage à l'air libre.....	11
Fig. I. 14 Tamis d'analyse granulométrique.	12
Fig. I. 15 . Fuseau des sables admissibles.	12
Fig. I. 16 . Forme d'un granulat.....	13
Fig. I. 17 .Volume hachuré = Volume absolu (sans pores).....	13
Fig. I. 18. Porosité et compacité.....	14
Fig. I 19. Foisonnement des différents sables en fonction de l'humidité.....	15
Fig. I 20 .Appareil Micro Deval.....	15
Fig. I. 21. L'absorption en fonction des granulats grossier à gauche et granulats concassé à droite.....	16
Fig. I. 22.La porosité en fonction des granulats grossier à gauche et concassé à droite.....	16
Fig. I. 23. Effet de la courbe granulométrique sur les résistances à la compression.....	17
Fig. I. 24. Rupture des éprouvettes a) Agrégat traversé directement. b) granulats intacts.....	18
Fig. I. 25 .Absorption d'eau cumulée du béton avec différentes fractions volumiques d'agrégats grossiers.	19
Fig. I 26 . Effet de « Va » sur la tortuosité des canaux de transport.	19
Fig. II. 1 Pyramide de valorisation selon les trois « R ».	24
Fig. II. 2 Collecte des déchets.....	24
Fig. II. 3 L'incinération des déchets.....	25
.Fig. II. 4 Schéma de principe d'un haut fourneau.	26
Fig. II. 5 Le laitier cristallisé.....	26
Fig. II. 6 Le laitier granulé.....	27
Fig. II. 7 Le laitier bouleté.....	27
Fig. II. 8 Le mâchefer.....	29
Fig. II. 9 Flux de chaleur pour les mélanges CEMI.....	29
Fig. II. 10 . Flux de chaleur pour les mélanges CSA.....	29
Fig. II. 11 Les résistances à la compression des bétons à RGP.....	30
Fig. II. 12 Ouvrabilité des bétons étudiés.....	31
Fig. II. 13 Densité des bétons étudiés.....	32
Fig. II. 14 L'absorption des bétons à haute résistance ; initiale en haut, finale en bas.....	32
Fig. II. 15 . Images MEB de la zone de transition entre les CWA et la pâte de ciment.	33
Fig.III. 1 . La masse volumique absolue du sable.....	36

Fig.III. 2 Détermination de la masse volumique apparente.	37
Fig.III. 3 Analyse granulométrique par tamisage	39
Fig.III. 4 Agitateur pour équivalent de sable	41
Fig.III. 5 Appareil de l'essai Los Angeles.....	44
Fig.III. 6 Image du sac du ciment utilisé.....	45
Fig.III. 7 . La courbe de référence selon la méthode Dreux-Gorisse.....	46
Fig.III. 8 Malaxage du béton ordinaire	46
Fig.III. 9 Confection des bétons étudiés.....	47
Fig.III. 10 . Etiquetage des différents bétons.....	47
Fig.III. 11 Essai d'affaissement au cône d'Abrams	48
Fig.III. 12 Affaissement des différents bétons.	48
Fig.III. 13 . La masse volumique des bétons élaborés.	49
Fig.III. 14 Machine d'essai de résistance à la compression	49
Fig.III. 15 Résistance à la compression des différents bétons [Mpa]	50
Fig.III. 16 Essai au scléromètre	50
Fig.III. 17 . Essai sclérométrique.....	51
Fig.III. 18 Appareil de retrait.....	51
Fig.III. 19 Appareil de retrait.....	52
Fig.III. 20 . Absorption totale des bétons étudiés	52
Fig.III. 21 Essai d'absorption par capillarité	53
Fig.III. 22 Evolution de l'absorption capillaire en fonction de t.	53

LISTE DES TABLEAUX

Tableaux. I. 1. Coefficient Los Angeles de quelques roches utilisées comme granulats **Error! Bookmark not defined.**

Tableaux .II. 1 Le temps de prise des différents mortiers 28
Tableaux .II. 2 Affaissement des bétons étudiés 31

Tableaux.III. 1 les différents matériaux utilisés pour la confections des bétons 35
Tableaux.III. 2 . Masse volumique absolue du sable de dune 36
Tableaux.III. 3 Masse volumique apparente du sable de dune à l'état lâche 37
Tableaux.III. 4 .Masse volumique apparente du sable de Boussaâda à l'état compact 37
Tableaux.III. 5 Porosité, compacité et indice des vides pour le sable de dune 38
Tableaux.III. 6 Teneur en eau du sable de dune 38
Tableaux.III. 7 . Analyse granulométrique du sable de dune 39
Tableaux.III. 7 . Analyse granulométrique du sable de dune 40
Tableaux.III. 8 Equivalent de sable pour sable de dune 41
Tableaux.III. 9 La masse volumique absolue des graviers 41
Tableaux.III. 10 La masse volumique apparente des différents granulats 42
Tableaux.III. 11 . La masse volumique apparente du gravier céramique. 42
Tableaux.III. 12 La porosité, compacité et indices des vides des graviers 42
Tableaux.III. 13 . La porosité, compacité et indices des vides des graviers céramique 42
Tableaux.III. 14 Teneur en eau du gravier. 43
Tableaux.III. 15 . Analyse granulométrique du sable de dune 43
Tableaux.III. 16 L'analyse granulométrique du gravier 3/8 43
Tableaux.III. 17 L'analyse granulométrique du gravier 8/16..... 43
Tableaux.III. 18 L'analyse granulométrique du gravier 16/25..... 44
Tableaux.III. 19 L'analyse granulométrique du gravier 8/16 céramique..... 44
Tableaux.III. 20 Coefficient LA du gravier céramique..... 44
Tableaux.III. 21 . Quelque élément chimique du ciment utilisé..... 45
Tableaux.III. 22 Formulation du béton pour 1m³ 46

ملخص

يسعى الإنسان دائمًا للحصول على الراحة والسلامة. بعد قرن من اكتشافها، تظل الخرسانة المادة الفاخرة في مجال البناء. لكن هذه المادة المركبة مصنوعة من مكونات طبيعية. يتم استخراج الإسمنت الرمل والحصى بسرعات تنذر بالخطر. هذا الاستغلال اللاعقلاني ضار بالبيئة.

في مجال البناء أيضًا ، أعطت زخرفة المباني الإنطلاقة لصناعة الخزف. هذه المنتجات يتزايد عليها الطلب لكنها هشّة والتعامل معها يتطلب الحذر. من بداية الإنتاج إلى التثبيت في الموقع ، تصبح العديد من الأجزاء عبارة عن نفايات. المشكلة أن تخزين هذه النفايات أصبح يتطلب مساحات أكثر.

لمعالجة هاتين المشكلتين والبيئتين تعتبر إعادة استخدام نفايات الخزف الصحي كحصى من أجل استعادتها في الخرسانة أمر يطرح نفسه.

يهدف هذا العمل إلى دراسة تأثير تقليل كمية الحصى المستخدمة في إنتاج الخرسانة العادية بواسطة حصى مطحونة من أصل خزفي.

الكلمات المفتاحية: خرسانة - حصى - طبيعي - بديل - مكسر - خزف صحي.

Résumé

L'être humain est toujours dans la quête de son confort et sécurité. Après un siècle de sa découverte, Le béton reste le matériau de luxe dans le domaine du bâtiment. Mais ce matériau composite est constitué d'ingrédients naturels. Le ciment, le sable et les graviers sont extraits à des vitesses alarmantes. Cette exploitation est nocive à l'environnement.

Toujours dans le domaine du bâtiment, l'ornementation des édifices à donner vie à l'industrie des céramiques. Ces produits de plus en plus convoités son fragile et leur manipulation est délicate. De la chaîne de production jusqu'à l'installation sur chantier de nombreuses pièces deviennent des déchets. Le problème est que le stockage de ces déchets devient de plus en plus volumineux.

Pour remédier à ces deux problèmes environnementaux, la réutilisation des déchets de céramiques sanitaires comme gravier afin de les valoriser dans le béton est d'actualité.

Ce travail a pour but d'étudier l'effet de la réduction de la quantité de gravier utilisé dans l'élaboration d'un béton ordinaire par un gravier concassé d'origine céramique.

Mots clés : Béton – gravier- naturel- substitution- concassé- céramique sanitaire.

Abstract

The human being is eternally in the quest of his comfort and safety. After a century of its discovery, concrete remains the luxury material in the field of construction. But this composite material is produced of natural ingredients. Cement, sand and gravel are extracted at alarming speeds. This exploitation is harmful to the environment.

Plus, in the field of construction, the ornament of buildings gave life to the ceramics industry. These increasingly coveted products are fragile and delicate to handle. From the production line to installation on site, many parts come to be waste. The problem is that the storage of this waste is becoming more and more voluminous.

To remedy these two environmental problems, the reuse of sanitary ceramic waste as gravel to recover it in concrete is topical.

This work aims to evaluate the effect of reducing the quantity of gravel used in the production of ordinary concrete by a crushed gravel of ceramic origin.

Keywords: Concrete – gravel – natural – substitution – crushed – sanitary ceramics.

Introduction générale

Introduction générale

Le béton est le matériau artificiel le plus utilisé au monde, jusqu'à ce jour il ne peut être remplacé dans la construction d'infrastructures, en raison de ces qualités (solidité et longévité) et sa capacité de prendre de multiples formes.

Mais avec l'augmentation des quantités produites de bétons, la consommation de ressources naturelles telles que le sable et les granulats augmentent rapidement elles aussi. Un grand nombre de montagnes et de paysages sont détruites à jamais, ainsi que les rivières qui ont changé de forme et de position.

D'un autre côté, afin de répondre au développement économique et aux besoins de vie des citoyens, l'industrie de la céramique continue son essor. Les carreaux de céramique, ou la céramique sanitaires sont produites à des niveaux alarmantes. Chaque année de nouvelles types et tendance voie le jour.

Dans cette course poursuite à la sécurité et le confort, l'être humain détruit son environnement. Des nuisances de chaque sorte se développent chaque jour. Dans le cas du génie civil, les chantiers de construction ou démolition génèrent des quantités importantes de déchets de toutes sortes. Les déchets céramiques sont généralement inertes, sans pollution de l'environnement et sans influence sur la santé humaine. Toutefois, ils constituent une pollution visuelle. À cet effet, leur élimination est souvent onéreuse. Le recyclage est l'une des nombreuses voies qui offrent une excellente occasion pour réduire le volume de ces déchets et la préservation des ressources naturelles.

La pollution et la manière d'utiliser efficacement les déchets céramiques, sont devenus un problème urgent de nos jours. Comment on applique efficacement les déchets céramiques générés par l'industrie céramique dans le secteur de la construction et la production d'une matière intelligente ? est un enjeu important dans le domaine du traitement des déchets et de la valorisation des ressources.

Depuis plusieurs années, des recherches sont effectuées afin d'étudier le comportement des matériaux recyclés provenant de la démolition comme granulats dans la fabrication du béton, étant donné que la mise en décharge des déchets de ces matériaux présente de nombreux problèmes (la place occupée par les sites de stockage, importance des coûts, impact sur l'environnement). Donc il est nécessaire de trouver un moyen pour la valorisation et la réutilisation de ces déchets et par conséquent trouver une autre source des granulats.

Objectif de l'étude

L'objectif de ce projet est d'étudier la faisabilité du remplacement partiel de la fraction graveleuse (8/16) par un gravier d'origine céramique sanitaire issu des déchets dans la composition d'un béton ordinaire.

Structure de la thèse

Pour arriver à notre fin nous avons divisé ce travail en trois chapitres en plus d'une introduction et une conclusion.

*Le premier chapitre relate sur l'effet des granulats et leurs caractéristiques sur les propriétés du béton ordinaire.

*Le deuxième chapitre récite les différents sources et origine des déchets ainsi que leurs gestions.

*Le troisième chapitre est consacré aux différents essais effectués au sein du laboratoire du département du génie civil. Ces essais étudient les caractéristiques d'un béton ordinaire avec la substitution d'une partie du gravier 8/16 naturel par du gravier concassé d'origine céramique de même dimension.

*A la fin une conclusion a été formulée avec une synthèse des différents résultats obtenus et quelques perspectives.

N.B. : Ce projet de fin d'étude a été conduit conjointement avec le projet nommé « L'effet d'un sable à base de déchets céramique sur les caractéristiques d'un béton ordinaire », mais la substitution dans ce dernier projet est la fraction sableuse.

Chapitre I : Les granulats dans le béton

Chapitre I : Les granulats dans le béton

I-1-Introduction

La pâte de ciment durcie a une résistance et d'autres propriétés qui pourraient la rendre appropriée pour être utilisée comme matériau de construction à part entière, mais elle souffre de de plusieurs inconvénients principaux : des changements dimensionnels élevés, en particulier un faible module, un fluage et un retrait élevés, et le coût élevé. Ces inconvénients sont surmontés, en ajoutant des granulats, produisant ainsi du béton.

Pour produire du béton, une gamme continue de tailles de granulats allant du sable fin aux pierres grossières peut être incorporer ; cela minimise la teneur en vides du mélange de granulats et aide le béton frais à s'écouler plus facilement. Normalement, les granulats occupent environ 65 à 80 % du volume total de béton [1].

I-2-Définition

Les granulats sont des matériaux granulaires inertes tels que le sable, le gravier ou la pierre concassée qui, avec l'eau et le ciment Portland, sont un ingrédient essentiel du béton, pour améliorer ses propriétés.

Les granulats sont obtenus en exploitant des gisements de sables et de graviers d'origine alluvionnaire terrestre ou marine, en concassant des roches massives (calcaires ou éruptives) ou encore par le recyclage de produits tels que les matériaux de démolition. Leur nature, leur forme et leurs caractéristiques varient en fonction des gisements et des techniques de production.[2]

I-3-Granularité

Il existe une grande diversité de granulats. Généralement à ils sont 6 familles comme présenté ci-dessous (figure I-1).

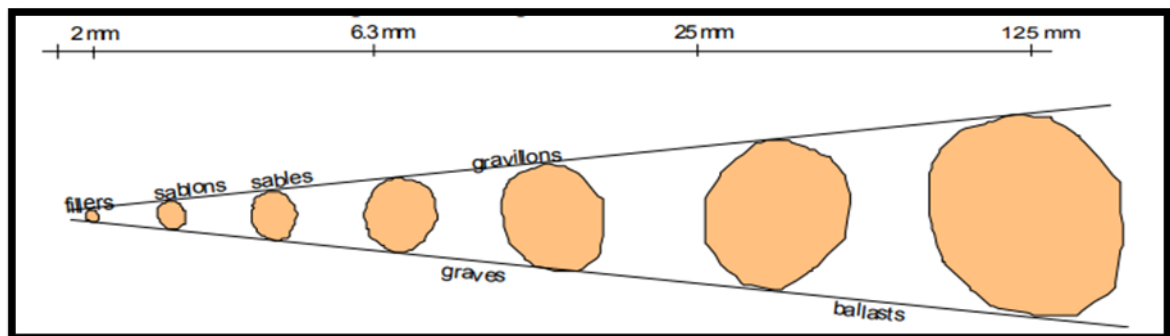


Fig. I. 1 Les familles de granulats.

I-3-1- Les fillers

Les fillers se composent de granules très fins dont l'ensemble passe à travers un tamis de 63 μm . Ce sont des granulats 0/D où $D < 2 \text{ mm}$. Environ 85 % des grains sont à 1,25mm et 70 % en sont à 0,063 mm. Ils servent à remplir les vides qui se forment lors d'un entassement granulaire. Ces matériaux assouplissent le béton frais et assurent la bonne résistance du béton durcis.

Chapitre I : Les granulats dans le béton

I-3-2- Les sablons

Ce sont des sables fins qui figurent parmi les matériaux de construction les plus utilisés en raison de leur caractère agrippant. Leur classe granulaire est 0/D où $D \leq 1$ mm. Leurs grains à 0,063 mm sont peu nombreux.

I-3-3- Les sables

Principaux éléments dans la confection de mortiers, de bétons et d'enduits, les sables sont indispensables dans tous les travaux de construction. Ce sont des granulats 0/D où la dimension D est comprise entre 0 mm et 4 mm.

I-3-4- Les graves

Les graves sont composés de sable et de gravillons. Elles interviennent essentiellement dans les travaux d'infrastructures routières. Leurs grains sont classés 0/D avec D comprise entre 6,3 mm et 80 mm.

I-3-5- Les gravillons

Les gravillons sont des minéraux fins parfois présents dans les sablons et les graviers. Ils servent généralement de revêtement de surface en construction. Ce sont des granulats d/D, la plus petite dimension de grains d est supérieur ou égal à 2 mm et D n'excède pas 63 mm.

I-3-6-Ballasts

Les ballasts sont plus utiles dans la construction des structures d'assise des voies ferrées. Ces granulats d/D sont composés de grains plus épais dont la dimension minimale d est supérieure ou égale à 31,5 mm. Le plus grand diamètre de ces cailloux, exprimé par l'indice D, peut aller jusqu'à 50 ou 63 mm.

I-4- Origine

En fonction de leurs nature ou de leurs d'origine, les granulats utilisés pour le béton sont d'origine naturelle, artificielle ou recyclée comme on peut constater sur la figure I-2.



Fig. I. 2 Les différents types de granulat

Chapitre I : Les granulats dans le béton

I-4-1-Les granulats naturels

Les granulats naturels alluvionnaires ou de roches meubles sont des amas de minéraux déposés naturellement à un endroit par l'action des eaux courantes ou de l'érosion et ils subissent aucun traitement autre que mécanique (réduction de dimensions).

Les granulats alluvionnaires ou roches meubles, dits roulés, dont la forme a été acquise par érosion, sont surtout des dépôts trouvés dans un lit de rivière (et en mer éventuellement). Ces granulats sont lavés pour éliminer les particules argileuses, et criblés pour obtenir différentes classes de granulats.[3]

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

I-4-1-1- Origines des granulats naturels

a-Originé sédimentaire

Ce type se forme à la surface de la terre par accumulation de sédiments. Elles résultent de l'érosion des roches éruptives ou des dépôts de sédiments marins. On les rencontre souvent sous la forme de roches meubles telles que les alluvions siliceuses, silico-calcaires ou calcaires.

b-Originé magmatiques ou éruptives

Les roches proviennent du refroidissement d'un magma préalablement fondu. Parmi les roches éruptives, on distingue : Les roches volcaniques qui naissent par solidification de coulées de lave (basaltes, andésites, rhyolites) et les roches plutoniques comme les granites, diorites, syénites, gabbros, etc.

c-Nature métamorphiques

Ce genre sont produites suite à des phénomènes tectoniques. Elles proviennent de la transformation des roches éruptives ou sédimentaires, sous l'action de la température, de la pression ou de l'apport de substances chimiques : quartzites, gneiss, schistes, micaschistes, marbres, etc.

I-4-2- Les granulats artificiels

Les granulats sont dits artificiels si leur origine est rattachée à des travaux de démolition de construction ou encore à un traitement thermique de roches. D'autres sous-produits sont également utilisés comme le laitier, scories ou mâchefer...

I-4-3- Les granulats recyclés

Ce type de granulat proviennent de la démolition d'ouvrages des déchets d'usine ou lorsqu'ils sont réutilisés. [4]

Chapitre I : Les granulats dans le béton

I-5-Techniques de fabrication

I-5-1-Découverte ou décapage

Cette opération consiste à enlever les terres (terres végétales, roches altérées, matériaux stériles...) situées au-dessus de la zone à exploiter. Ces terres sont stockées indépendamment de façon à pouvoir être réutilisés lors du réaménagement de la carrière, sans pour autant gêner les différentes phases de l'exploitation.

I-5-2- L'extraction

Cette opération se déroule par abattage à l'explosif pour les roches dures, par pelle mécanique pour les roches moins dures (granulats concassés), ou par dragage en site aquatique (granulats alluvionnaires).

I-5-3- Le transfert vers les centres de traitement

La manutention des matériaux entre le lieu d'extraction et le centre de traitement (le plus rapproché possible) s'effectue soit en continu, soit en discontinu. Le transport continu s'effectue par des bandes roulantes ou dans le cas d'extraction en milieu hydraulique, on peut utiliser un système de tuyauteries ou de bandes transporteuses flottantes entre la drague et la berge. Le transfert discontinu est assuré par des camion bennes et des pelles hydrauliques (figure I.3) ou par voie ferré ou maritime.



Fig. I. 3 Transfert des roches.

I-5-4-Fabrication

I-5-4-1- Concassage

La fabrication de granulats à partir de roches massives nécessite toujours plusieurs opérations de concassage. Dans le cas de granulats alluvionnaires, le concassage ne s'effectue que sur les plus gros éléments (galets, gros graviers) ou dans des cas particuliers (figure I.4).



Fig. I. 4 Opération de concassage.

Chapitre I : Les granulats dans le béton

Il existe différents types de concasseurs :

• **Concasseurs à mâchoires** (figure I-5) : ce sont des concasseurs primaires à simple effet, munis d'un système oscillant. Leur débit ou leur rendement est suivant la dureté du matériau. Il est généralement de 15 tonnes/h.

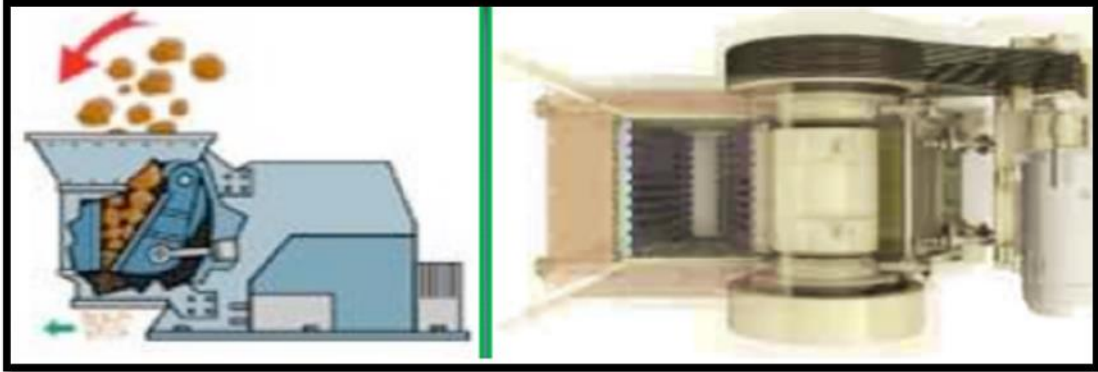


Fig. I. 5 Concasseurs à mâchoires

• **Concasseurs à percussion** (figure I-6) : Le concassage s'effectue par choc des particules sur les percuteurs.

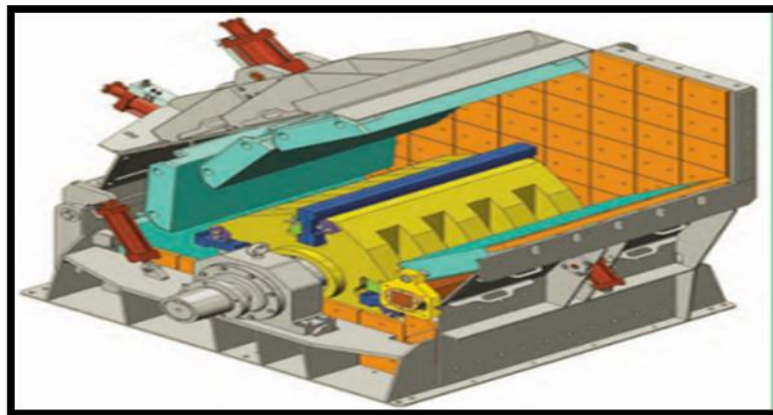
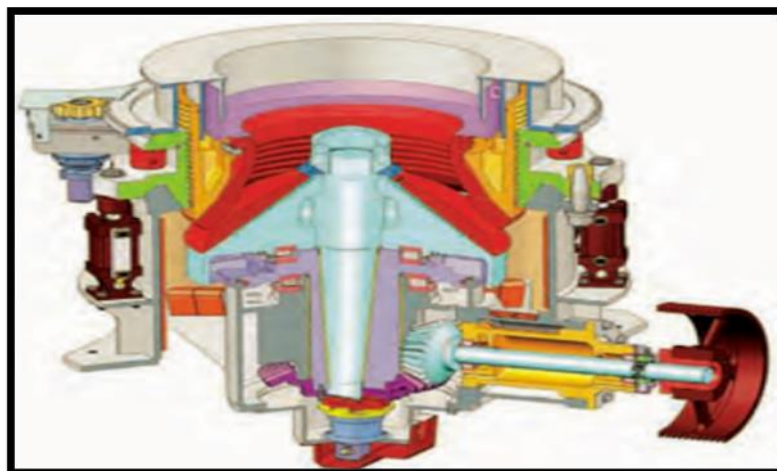


Fig. I. 6 Concasseurs à percussion

• **Concasseurs giratoires** (figure I-7) : En jouant sur la géométrie interne des concasseurs giratoires, on peut les utiliser comme concasseurs primaires, secondaires ou tertiaires



Chapitre I : Les granulats dans le béton

Fig. I 7 Concasseurs giratoires

•**Concasseur à cylindre** (figure I-8): C'est un appareil constitué de deux pièces à broyage mobiles, tournant dans le même sens pour obtenir des éléments de granulométrie affinés.

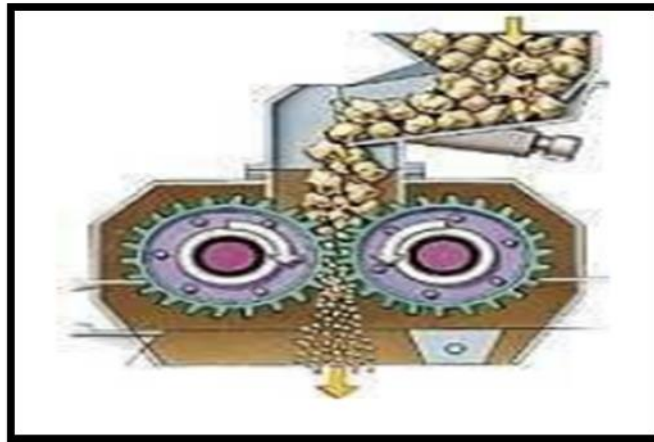


Fig. I 8 Concasseur à cylindre

I-5-4-2- Criblage

On peut, par une succession de criblages, trier les grains et obtenir des granulats de tous les calibres possibles (figure I.9 et I.10):

- Soit correspondant à une dimension précise (granulométrie), exemple : sable de 3 mm.
- Soit entrant dans une fourchette définie, exemple: $10 \text{ mm} < \text{granulats} < 20 \text{ mm}$.

Il se fait sur tamis (granulats concassés), mais il s'effectue sous l'eau (granulats alluvionnaires).



Fig. I. 9 .Cribleur rotatif.



Fig. I. 10 . Cribleur vibrant

.I-5-4-3- Le lavage

La présence de boues, d'argiles ou de poussières mélangées aux matériaux ou enrobant les grains, empêche leur adhérence avec les liants (ciment, chaux, laitier ou bitume), ce qui interdit alors leur utilisation.

Chapitre I : Les granulats dans le béton

Débourber, laver (figure I.11) ou dépoussiérer permet d'obtenir des granulats propres. La propreté des granulats est une nécessité industrielle.



Fig. I. 11. Opération de lavage.

I-5-4- Stockage et livraison

Après toutes les opérations de traitement, les granulats sont stockés, soit sous forme de tas individualisés, soit en trémies ou en silos (figure I.12 et I.13). Les granulats sont ensuite transportés vers les chantiers par différents moyens de transport : train, camion ou péniche.



Fig. I. 12 Silo pour stockage



Fig. I. 13 Stockage à l'air libre

I-6- Les caractéristiques de granulats

Les granulats sont les principaux composants du béton (environ 70 % en poids). Les performances mécaniques des granulats vont donc conditionner la résistance mécanique du béton et leurs caractéristiques géométriques et esthétiques, en particulier, l'aspect des parements des ouvrages.

Le choix des caractéristiques des granulats (roulés ou concassés, teintes, dimensions) est déterminé par les contraintes mécaniques, physico-chimiques et esthétiques du projet à réaliser et de mise en œuvre du béton (critère de maniabilité, enrobage). [5]

I-6-1- Caractéristiques géométriques

I-6-1-1- Granulométrie

Chapitre I : Les granulats dans le béton

Elle permet de déterminer l'échelonnement des dimensions des grains contenus dans un granulat. Elle consiste à tamiser le granulat sur une série de tamis à mailles carrées, de dimensions d'ouverture décroissantes et à peser le refus sur chaque tamis. Les ouvertures carrées des tamis sont normalisées et s'échelonnent de 0,08 mm à 80 mm (figure I.14).



Fig. I. 14 Tamis d'analyse granulométrique.

I-6-1-2-Module de finesse

Le module de finesse est un coefficient permettant de caractériser l'importance des éléments fins dans un granulat, il est égal au 1/100 de la somme des refus, exprimés en pourcentages sur les différents tamis de la série suivante : 0.16, 0.315, 0.63, 1.25, 2.5, 5 mm. Le module de finesse est une caractéristique intéressante, surtout en ce qui concerne les sables.

Selon l'analyse granulométrique (figure I.15), Il existe trois zones distinctes de ce module :

*La partie supérieur A ($1.8 < M_f < 2.2$) est à utiliser si l'on recherche particulièrement la facilité de mise en œuvre au détriment probable de la résistance.

*La partie central B ($2.2 < M_f < 2.8$) convient bien pour obtenir une ouvrabilité satisfaisante et une bonne résistance avec des risques de ségrégation limités.

*La partie inférieure C ($2.2 < M_f < 3.2$) correspond à des sables à utiliser pour la recherche des résistances élevées, mais on aura en générale, une moins bonne ouvrabilité et des risques de ségrégation.

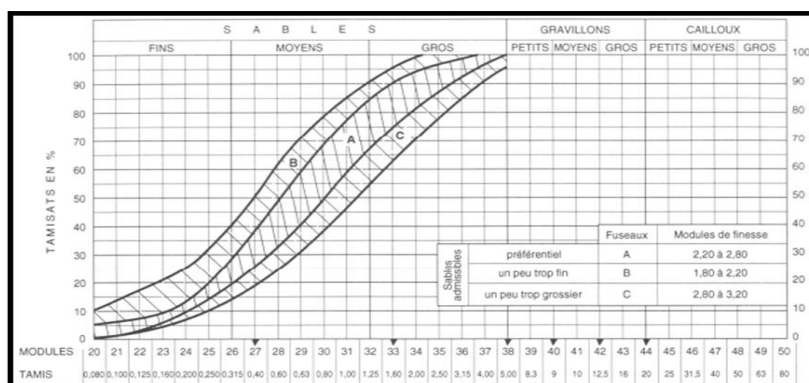


Fig. I. 15 . Fuseau des sables admissibles.

Chapitre I : Les granulats dans le béton

I-6-1-3-Coefficient d'aplatissement

Selon leur origine, leur nature et leur mode d'élaboration, les granulats peuvent avoir des formes sphériques, cubiques, nodulaires, plates ou allongées.

La forme d'un granulat est définie par 3 dimensions principales (figure I.16):

- Longueur (L) : le plus grand écartement d'un couple de plans tangents parallèles,
- Epaisseur (E) : le plus petit écartement d'un couple de plans tangents parallèles.
- Grosseur (G) : dimension de la maille carrée minimale à travers laquelle passe l'élément.

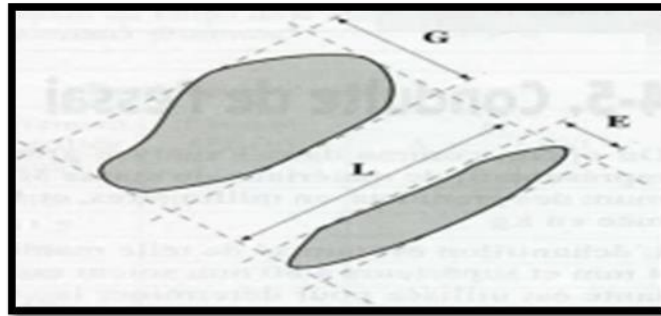


Fig. I. 16 . Forme d'un granulat

Un gravillon de forme favorable (sphérique, cubique, nodulaire) présente un coefficient d'aplatissement généralement compris entre 5 et 20 %.

Un gravillon de forme défavorable (plate ou allongée) présente un coefficient d'aplatissement élevé (20 à 40 %).

I-6-2-Caractéristiques physicochimiques

I-6-2-1-La masse volumique

La masse volumique apparente d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules.

La masse volumique absolue (figure I.17) d'un matériau est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides prouvés exister dans ou entre les grains.

Cette caractéristique a pour but de permettre de connaître la masse d'une fraction granulaire lorsque par exemple on élabore une composition de bétons.[6]

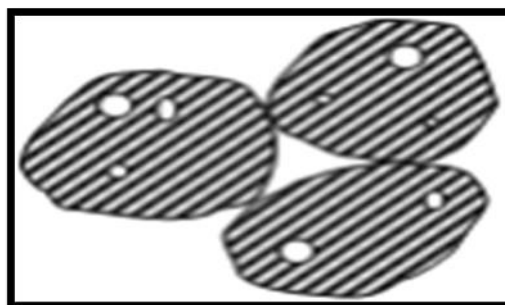


Fig. I. 17 . Volume hachuré = Volume absolu (sans pores)

Chapitre I : Les granulats dans le béton

I-6-2-2-Porosité et compacité

La porosité « P » d'un granulat est le rapport du volume des vides contenus dans les grains au volume des grains.[7]

La compacité « C » est le rapport du volume des pleins au volume total. Ou volume des pleins par unité de volume apparent (figure I.18).

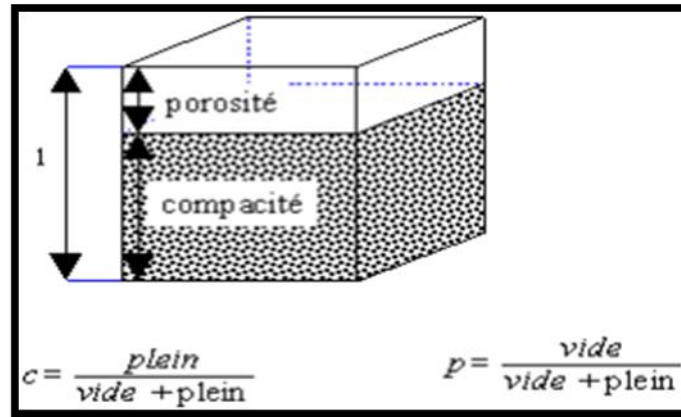


Fig. I. 18. Porosité et compacité

I-6-2-3-L'absorption

L'absorption des granulats est le rapport de l'augmentation de leur masse provoquée au bout de 24 heures par une imbibition partielle par rapport à leur masse sèche.

Généralement, le gravier a une absorption plus élevée que la roche de même type pétrographique car, sa surface est plus poreuse et absorbante en raison de son altération.

I-6-2-4-Teneur en eau

La teneur en eau d'un granulat est le rapport du poids d'eau contenu au poids des grains composant le granulat.

Les granulats utilisés pour la confection du béton contiennent généralement une certaine quantité d'eau variable selon les conditions météorologiques. L'eau de gâchage réellement utilisée est par conséquent égale à la quantité d'eau théorique moins l'eau contenue dans les granulats.

I-6-2-5-Foisonnement

Le foisonnement est l'augmentation du volume total du granulat fin à l'état humide par rapport à l'état sec (figure I.19). La tension superficielle de l'humidité éloigne les particules, provoquant un accroissement de volume. Même compacté au préalable, un granulat fin humide (tel le sable) foisonne lorsqu'on le manipule à la pelle où qu'on le déplace lorsqu'il est humide[8].

Chapitre I : Les granulats dans le béton

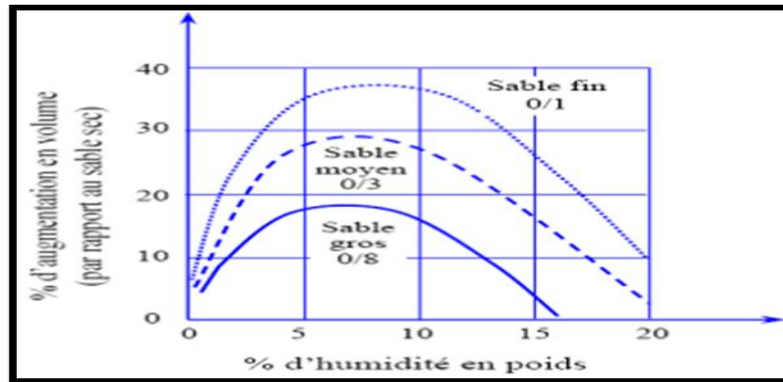


Fig. I 19. Foisonnement des différents sables en fonction de l'humidité

I-6-3- Caractéristiques mécaniques

I-6-3-1- Résistance à l'usure et aux chocs

Pour les granulats surtout destinés aux constructions routières, le passage répété de véhicules conduit à émousser, à polir progressivement les granulats et ainsi à diminuer l'adhérence des pneumatiques sur la chaussée.

L'essai micro-Deval (figure I.20), permet de mesurer la résistance à l'usure par frottements entre les granulats et une charge abrasive. Il consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1.6 mm produite dans un broyeur, dans des conditions bien définies, à sec ou en présence d'eau. Plus le coefficient micro-Deval est élevé, meilleur est le matériau.



Fig. I 20 .Appareil Micro Deval

L'essai Los Angeles quant à lui a pour but de mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1.6 mm produite par fragmentation, en soumettant le matériau à des chocs de boulets à l'intérieur d'un cylindre en rotation. Le tableau I.1 donne une indication sur la qualité des granulats selon Le coefficient « LA ».

Tableaux. I. 1 Coefficient Los Angeles de quelques roches utilisées comme granulats

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

Chapitre I : Les granulats dans le béton

I-7-Influence des caractéristiques de granulats sur les propriétés des matériaux cimentaires

Zarauskas et al.[9] ont constaté que l'absorption d'eau la plus élevée dans les bétons étudiés a été atteinte pour les spécimens sans granulat grossier. L'augmentation de la concentration volumique des agrégats grossiers a diminué l'absorption d'eau (figure I.21).

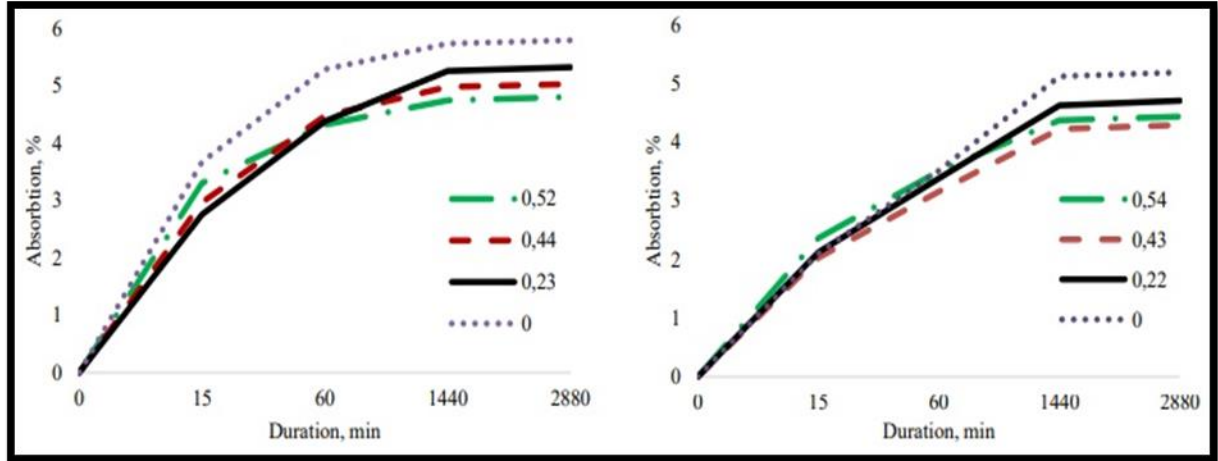


Fig. I. 21. L'absorption en fonction des granulats grossier à gauche et granulats concassé à droite

Cette observation est confirmée en utilisant du gravier concassé et des granulats grossiers pour observer la porosité totale des bétons. Selon les mêmes auteurs la porosité est plus élevée lors de l'utilisation des granulats grossiers concassés (figures I.22).

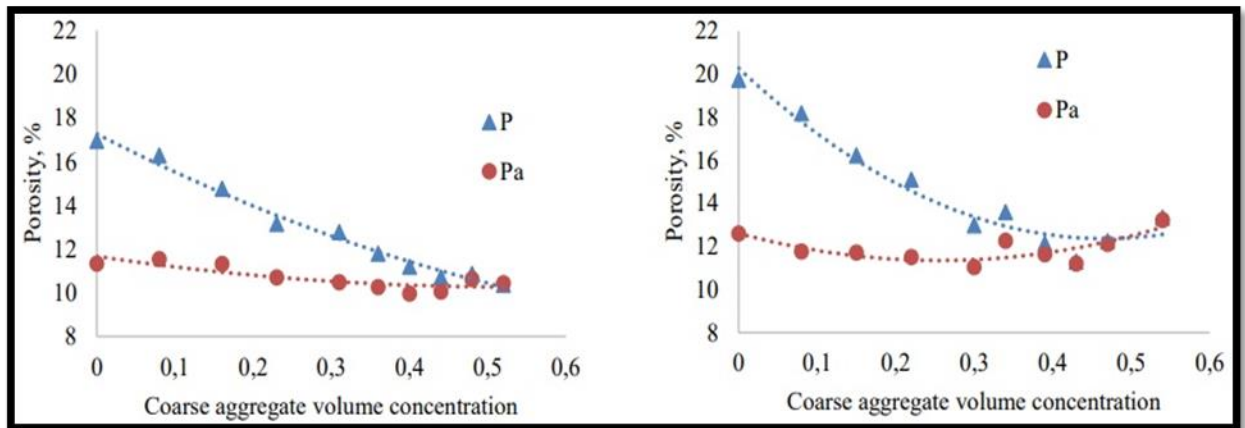


Fig. I. 22.La porosité en fonction des granulats grossier à gauche et concassé à droite.

Brozovsky[10] a montré que le type de roche mère à partir de laquelle les granulats sont fabriqués influence sans ambiguïté les résultats des mesures effectuées avec des scléromètres. Le nombre de rebonds du béton à granulat de granodiorite (un granulat avec une résistance à la compression assez faible) est supérieur en moyenne de 1,6 unités (2,8%) pour le scléromètre Schmidt type N et supérieur de 2,3 unités (4,2%) pour le scléromètre Schmidt type L par rapport au béton avec des granulats de basalte (tableau I-2).

Chapitre I : Les granulats dans le béton

Tableaux. I. 2 Résultat des résistances avec deux types de granulats

Age of concrete (days)	HSC with granodiorite aggregate – HS3				HSC with basalt aggregate – HS5			
	3	7	28	56	3	7	28	56
R_N (-)	52.0	53.7	58.3	60.8	51.7	54.3	54.6	59.2
	53.3	55.9	59.2	57.7	50.3	53.9	56.8	59.1
	52.3	54.9	59.1	59.2	51.4	54.7	57.8	59.3
	53.1	54.8	58.6	60.4	50.9	53.3	57.1	59.6
R_L (-)	49.6	53.1	56.8	56.8	47.5	51.1	53.9	51.3
	49.8	52.4	57.5	56.3	48.2	50.8	53.3	53.9
	49.3	54.0	56.7	56.2	49.7	50.3	55.0	55.7
	49.5	53.6	57.2	56.5	48.8	50.0	54.2	57.3
$f_{c,cu}$ (MPa)	77.4	93.0	113.6	120.8	82.2	100.1	111.0	102.2
	75.9	92.8	113.9	112.7	83.0	99.8	115.7	131.4
	77.2	93.7	111.5	120.3	82.6	102.4	126.4	130.6
	76.3	93.6	112.4	126.8	83.1	98.9	117.8	134.6

Selon la même étude un changement dans la courbe granulométrique conduit à des valeurs différentes de résistances à la compression (figure I.24). L'auteur constate que des bétons de même classe par exemple C110/115 mais avec une courbe granulométrique idéal « A » et une courbe « B » désignant la limite supérieure de granulométrie recommandée pour $D_{max}=16$ mm.

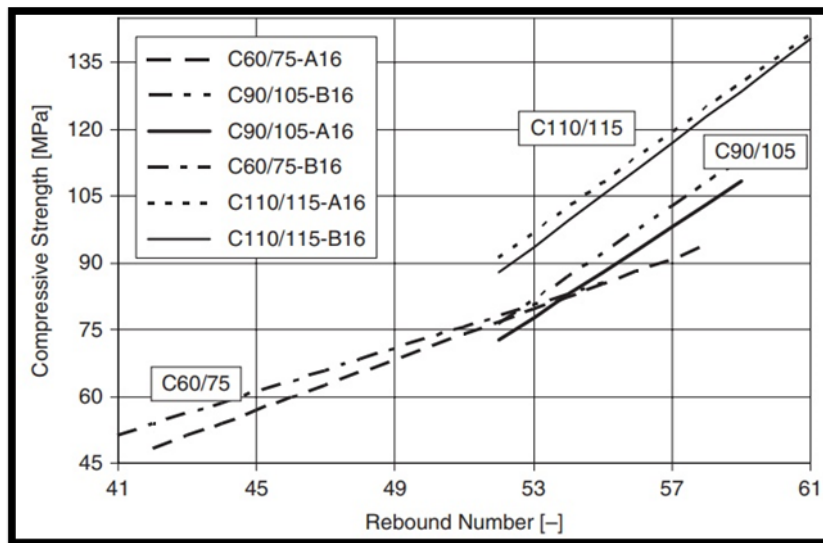


Fig. I. 23. Effet de la courbe granulométrique sur les résistances à la compression

La forme est une propriété physique importante des agrégats. Dans le travail de Hang et al.[11] , les granulats grossiers de granit ont d'abord été divisés en pierre feuilletée et en pierre massive par criblage manuel. Ensuite, l'agrégat grossier a été sélectionné au hasard pour des mesures de taille et de volume afin d'obtenir et d'analyser les paramètres de forme de l'agrégat tels que la forme sphérique ou plan (plus de 120 formes). Les résultats montrent que les différentes formes ont un effet sur la résistance à la compression du béton avec un rapport eau-liant de 0,33, mais ont peu d'effet sur la résistance du béton avec des rapports de 0,41 et 0,5.

L'une des explications est que la forme d'aiguille est granuleuse extrême se brise facilement, donc lorsque l'agrégat est sous pression, la matrice fonctionne normalement alors que le béton peut être détruit par la destruction de l'agrégat en forme d'aiguille. Dans la figure

Chapitre I : Les granulats dans le béton

I.25.a, la section traverse directement l'agrégat, alors que dans la figure I.25.b, la plupart des agrégats sur la surface de rupture reste intacte.

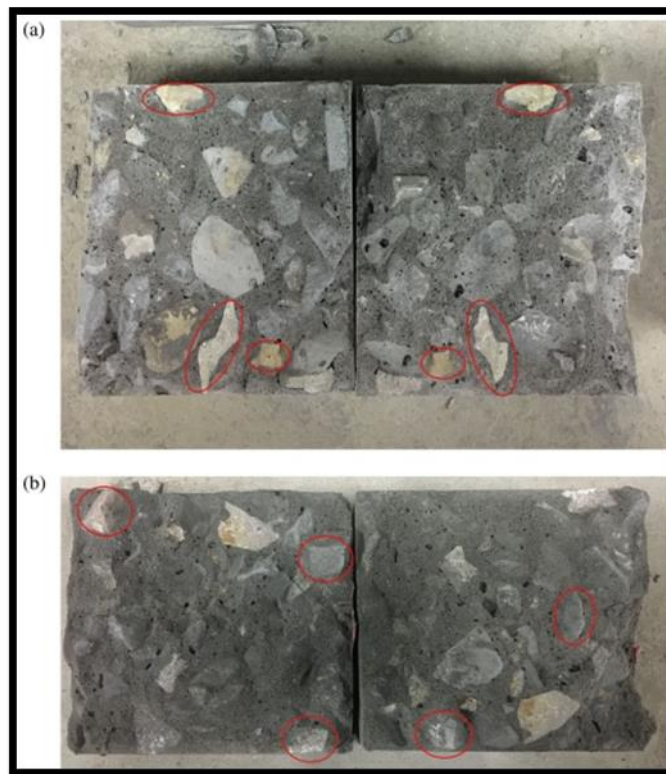
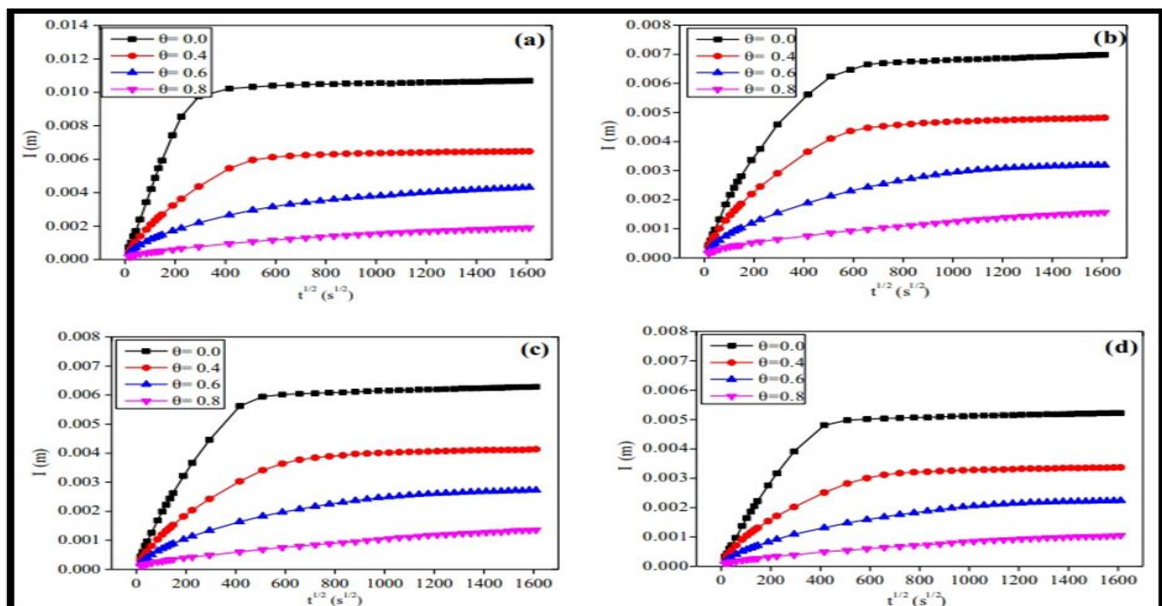


Fig. I. 24. Rupture des éprouvettes a) Agrégat traversé directement. b) granulats intacts

Le processus d'absorption d'eau du béton peut être divisé en deux étapes : étape rapide et étape stable. Une augmentation de la fraction volumique des granulats grossiers diminue l'absorption d'eau du béton; cependant, la granulométrie des granulats grossiers a peu d'effet sur l'absorption d'eau du béton non saturé.

Yang et al.[12] remarqués que l'absorption totale d'eau du béton diminue linéairement avec l'augmentation du volume de granulats grossiers (figure I.26). L'absorption d'eau des granulats grossiers peut être ignorée par rapport au mortier qui joue un rôle de remplissage dans le béton.



Chapitre I : Les granulats dans le béton

Fig. I. 25 .Absorption d'eau cumulée du béton avec différentes fractions volumiques d'agrégats grossiers.

a) $V_a = 0 \%$, b) $V_a = 30 \%$, c) $V_a = 40 \%$ et d) $V_a = 50 \%$

Les pentes des différents béton à granulats « S_i » par rapport à la pente du mortier « S_0 » diminue avec l'augmentation de « V_a » (le taux de la fraction granulaire), car la sorptivité des granulats grossiers peut être négligée par rapport au mortier, et l'ajout de granulats grossiers dilue le volume de mortier. Mais, comme le montre la figure I.27 dans la même étude, l'augmentation de « V_a » améliore la tortuosité du chemin de transport de l'eau.

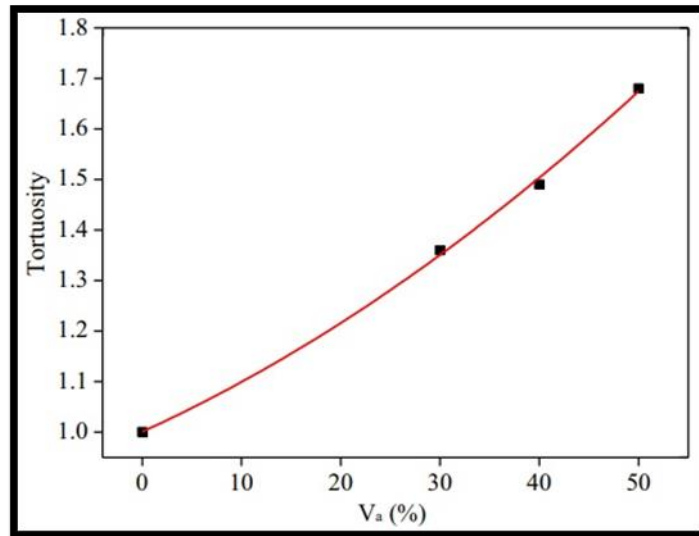


Fig. I 26 . Effet de « V_a » sur la tortuosité des canaux de transport.

Chapitre II: valorisation des granulats recyclés dans Les béton

Chapitre II: valorisation des granulats recyclés dans Les béton

II-1-Les déchets

II-1-1-Définition

Le concept de déchet est et sa définition a connu une évaluation temporelle, selon les disciplines Le mot « déchet » apparaît au XIVème siècle, il vient du verbe déchoir qui traduit « la diminution de valeur d'une matière ou d'un objet, jusqu'au point où il devient inutilisable en un lieu et en un temps donnés »[13].

II-1-1-1-Approche juridique

La loi n 01 /19 décembre 2001 relative à la gestion, ou contrôle et l'élimination des déchets en Algérie définit le déchet comme : tout résidu du processus de production de transformation ou d'utilisation et plus généralement toute substance ou tout produit et tout bien meuble dont le propriétaire ou le détenteur se défait projette de se défaire ou dont il obligation des défaire ou d'éliminer [14].

II-1-1-2-Approche économique

Un déchet est une matière ou un objet dont la valeur économique est nulle ou négative, pour son détenteur, à un moment et dans un lieu donné. Donc pour s'en débarrasser, le détenteur devra payer quelqu'un pour faire lui-même le travail. Selon cette définition, la valeur de cette matière ou cet objet peut redevenir positive c'est à-dire pour lequel un acquéreur est disposé à payer un prix[15].

II-1-1-3-Approche sociologique

Le déchet est un révélateur, un marqueur, un traceur des espace set des sociétés, il est le témoin d'une culture et de ses valeurs. Il est le reflet du niveausocialdes populations et de l'espace dans lequel elles évoluent : zones rurales / urbaines, habitats collectifs / individuels [16].

II-1-2- Les différent types des déchets

Pour collecter et traiter les différents déchets de la meilleure façon possible et avec la plus grande sécurité, le monde des déchets nécessite une meilleure structuration et une meilleure gestion, de sorte que des classifications des déchets ont été développées en fonction de leurs caractéristiques ou de leur appartenance à différents secteurs d'activité ou de production.

II-1-2-1-Classification en fonction de l'origine des déchets

A partir des définitions précédentes, on peut effectuer une première classification des déchets basée sur l'origine des déchets :

- *Les déchets des collectivités locales.
- *Les déchets des ménages.
- *Les déchets industriels.
- *Les déchets hospitaliers, déchets d'activité de soins ou déchets infectieux.
- *Les déchets agricoles.

Mais cette première classification ne donne qu'une vision incomplète de ce que sont les déchets [17].

Chapitre II: valorisation des granulats recyclés dans Les béton

II-1-2-2- Classification en fonction des sources des déchets

Globalement, les sources de déchets se répartissent comme suit :

a-Ménage : Ordures ménagères, déchets encombrants et déchets spéciaux

b-Communes : Balayures des rues et des marchés. Déchets verts des parcs et Boues de traitement des eaux.

c-Commerces, services et industrie : Déchets hospitaliers, de chantiers, des mines et les déchets agricoles [18].

Académiquement les déchets produits peuvent être classés en cinq catégories :

*Ordures ménagères (OM).

*Industriels banals (DIB).

*Les déchets industriels spéciaux (DIS).

*Les déchets inertes

*Les déchets d'activités de soin (DAS).[19]

*Les ordures ménagères

La définition des ordures ménagères renvoie en fait à ce qui est admis lors de la collecte municipale, elle varie en fonction des arrêtés municipaux. Elles comprennent outre les déchets des ménages ordinaires et de la population vivant en institution, les déchets de voirie, des commerces, etc.

Ils sont également appelés déchets domestiques ou communautaires. Ils incluent les déchets domestiques et ceux qui leur sont assimilables par la nature et le volume, les déchets provenant des commerces, de l'artisanat, de petites entreprises ou d'un service de restauration : restes de cuisines, papiers et verres usés, vieux métaux et textiles, les déchets d'emballage (cartons, cageots, boîte de conserve,...), déchets d'épluchures et de préparations alimentaires, repas non servis et denrées non consommées, les déchets encombrants (meubles, appareils), ils comprennent aussi les déchets des marchés et d'abattoirs; Les déchets des espaces publics (rues, marchés, égouts, espaces vert).

*Les déchets industriels

Les déchets d'origine industrielle sont classés par secteur industriel comme exemple : Sidérurgie, agroalimentaire, ciment, verre, céramique, etc..

Ils sont classés selon leur caractère polluant .[20]

*Déchets Industriels Banals (DIB)

Les (DIB), sont définis comme étant des déchets issus des entreprises (commerce, artisanat, industrie, service) qui, par leur nature, peuvent être traité ou stockés dans les mêmes installations que les déchets ménagers.

Ils contiennent les mêmes composantes mais dans des proportions différentes. Ils sont composés en grande partie d'emballage, mais également de chutes de production (Copeaux, loupés, ... etc.) ainsi que de résidus de nettoyage et des déchets de bureau.

Chapitre II: valorisation des granulats recyclés dans Les béton

Cette définition montre ses limites car si cette approche peut être applicable à des déchets de type emballages (bois, papier, plastiques, cartons, fer, aluminium, ...etc.), on peut s'interroger sur la valorisation (qui fait partie du terme générique traitement) de déchets tels que des laitiers ou des scories, des piles et accumulateurs, etc., dans des installations recevant des déchets ménagers.

Les Déchets Industriels Spéciaux (DIS)

C'est les déchets spécifiques potentiellement polluants pouvant contenir des éléments toxiques en quantités variables et présenter de ce fait des risques pour l'environnement s'ils ne sont pas traités ou stockés correctement . [21]

Il s'agit ici des déchets solides ayant un caractère polluant assez élevé et peu susceptible de se transformer. Ils contiennent des particules (comburant, irritant, nocif, toxique, corrosif ou infectieux) pouvant représenter un risque pour la santé de l'homme ou pour l'environnement comme le risque d'incendie ou d'explosion.

***Les déchets industriels inertes (DI)**

Ce sont des solides minéraux qui ne sont pas susceptibles d'évoluer physiquement, chimiquement ou biologiquement lorsqu'ils sont jetés, et présentent un caractère polluant très faible. Ils sont essentiellement constitués de déblais et de gravats et de restes de constructions(béton concassé, tuiles, briques, etc.).[20]

*** Les déchets d'activité de soins (DAS)**

Les déchets hospitaliers sont ceux produits au niveau des unités et services de soins. Ils sont constitués des pertes comme les matériaux jetables, des produits chimiques, objets tranchants, seringues jetables, des tiges, des bandages, d'excréta humains, etc. [22]

Ces déchets sont fortement infectieux et peuvent constituer une menace sérieuse pour la santé publique s'ils ne sont pas bien gérés.

II-1-3- La gestion des déchets

La gestion des déchets vise à réduire l'impact des déchets sur la santé humaine, l'environnement et le milieu de vie et leur valorisation du point de vue de l'économie circulaire. Tous les déchets sont concernés (solides, liquides, gazeux, toxiques, dangereux, etc.), chacun avec son propre secteur.

La gestion des déchets est devenue une branche de la science comportementale appliquée. Elle comprend la collecte, le transport, le traitement, le recyclage ou l'élimination des déchets provenant des activités humaines (figure II.1).

Chapitre II: valorisation des granulats recyclés dans Les béton

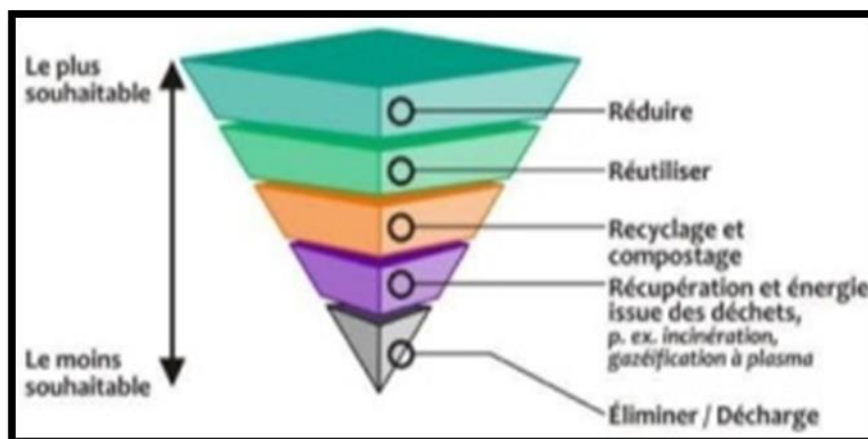


Fig. II. 1 Pyramide de valorisation selon les trois « R ».

II-1-3-1- La collecte

La collecte et la séparation des déchets pour le transport (figure II.2) est de la responsabilité des particuliers et des professionnels. Le pré-assemblage nécessite un équipement approprié (flux d'ordures, bâtiments, boîtes, etc.).[23]

Dans cette étape, il est particulièrement nécessaire d'améliorer la taille des conteneurs, des quantités de déchets générés, de la fréquence d'assemblage, etc. Le très grand conteneur affecte la qualité du service et, au contraire, le très petit conteneur réduira l'efficacité de l'assemblage tout en provoquant la dispersion des déchets.[24]



Fig. II. 2 Collecte des déchets.

II-1-3-2- Le recyclage

Après la collecte et le tri des déchets dans les centres de traitement, le recyclage est effectué. C'est un processus de traitement, permettant la réintroduction des déchets dans le cycle de production d'où ils proviennent. Les déchets recyclables sont des déchets qui peuvent être transformés en matières premières secondaires, permettant la production d'autres produits.

Les déchets recyclables sont divisés en quatre catégories principales : plastique, verre, papier/carton et métal. Ils comprennent également les déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE), les déchets de caoutchouc et de construction...

*Recyclage chimique. (Utilise une réaction chimique pour traiter les déchets,)

Chapitre II: valorisation des granulats recyclés dans Les béton

*Recyclage mécanique (par exemple par broyage;)

*Recyclage organique, (fertilisation ou fermentation, pour produire des engrais ou des carburants tels que le biogaz.)

II-1-3-2- L'élimination

Il s'agit de la dernière étape du processus de gestion des déchets. Le processus consiste à éliminer les déchets non recyclables restants, ce qui comprend deux méthodes: l'incinération et la mise en décharge.

a-L'incinération

C'est le processus de destruction d'un matériau en le brûlant (figure II.3).L'incinération est souvent appelée « Énergie à partir des déchets » ou « des déchets vers l'énergie » ; elle est connue pour être une méthode pratique pour se débarrasser des déchets contaminés, comme les déchets médicaux biologiques.



Fig. II. 3 L'incinération des déchets

b-la mise en décharge

La mise en décharge est le processus le plus simple et le plus économique. Il existe différents types :

*La mise en décharge surveillée

Il s'agit d'un site d'enfouissement amélioré, où se trouvent les sédiments et où se trouve un superviseur chargé de guider les camions et de prévenir l'itinérance des animaux. De plus, il y a une intervention mécanique pour s'assurer que les déchets sont enfouis et recouverts de terre.

*La mise en décharge sauvage

C'est une décharge illégale, recevant des déchets de toutes sortes, avec de nombreux

Chapitre II: valorisation des granulats recyclés dans Les béton

défauts éthiques, de mauvaises odeurs, de graves risques de pollution des eaux souterraines et des risques d'incendie.

*La mise en décharge contrôlée

Il s'agit d'une décharge réglementaire, qui répond à de nombreuses exigences telles que les sites d'interface des déchets, l'épaisseur, la capacité, l'étroitesse, la collecte et la purification de l'eau qui coule. [25]

II-2- Les déchets dans le génie civil

II-2-1-Le laitier de haut fourneau

Le laitier des hauts fourneaux est un sous-produit de la production de la fonte dans les hauts fourneaux obtenue à partir du minerai et du coke métallurgiques (figure II.4).

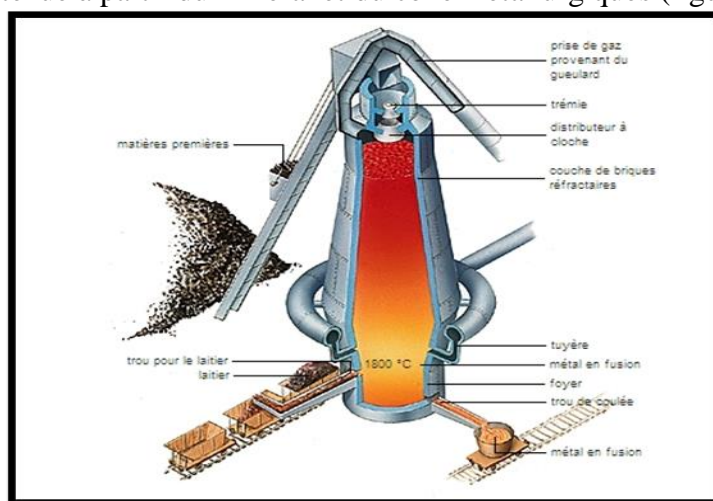


Fig. II. 4 Schéma de principe d'un haut fourneau.

Suivant le mode de refroidissement on distingue trois catégories de laitier :

II-2-1-1-Le laitier cristallisé

Ce laitier est refroidi lentement à l'air libre jusqu'à durcissement. Après extraction et concassage, il est utilisé comme granulats. Il ne possède aucune propriété hydraulique et ne peut être employé en cimenterie comme ajout actif (figure II.5).



Fig. II. 5 Le laitier cristallisé

Chapitre II: valorisation des granulats recyclés dans Les béton

II-2-1-2-Le laitier vitrifié

Le refroidissement brusque par un courant d'eau froide transforme le laitier liquide en un granulat fin (figure II.6) d'où le nom de laitier granulé, qui sera utilisé comme ajout au liant ou comme liant hydraulique.

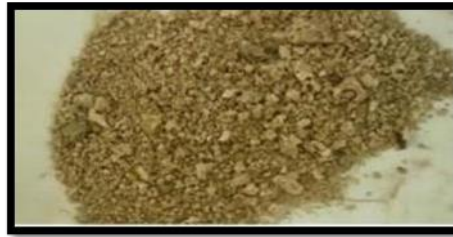


Fig. II. 6 Le laitier granulé.

II-2-1-3-Le laitier bouleté

Une autre forme de production a été développée et consiste en un bouletage du laitier (figure II.7), qui donne d'une part un granulat léger et d'autre part un sable 0-3 mm pouvant être utilisé dans la fabrication des liants hydrauliques.



Fig. II. 7 Le laitier bouleté

Yang et al. [26] ont mesuré le temps de prise initial et final du mortier avec GGBFS selon la norme ASTM C403. La figure II.8 montre l'effet du GGBFS et de la température sur le temps de prise du mortier. On constate que les mortiers du même rapport de remplacement GGBFS montrent une diminution du temps de prise à des températures de durcissement plus élevées.

Ceci est due à un film imperméable qui s'est formé lorsque la particule GGBFS réagit avec l'eau. En raison de la formation du film imperméable, la réaction d'hydratation est retardée, ce qui limite la pénétration de l'eau et des ions.

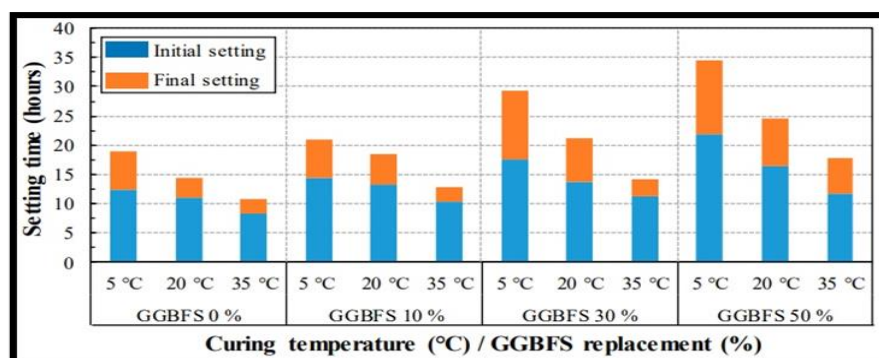


Figure II.8. Temps de prise, selon la température de durcissement et le taux de remplacement du laitier

Chapitre II: valorisation des granulats recyclés dans Les béton

Yun et al.[27] ont observé que le temps de prise pour les ciments CEMI et les ciments à laitier augmente à fur et à mesure de l'augmentation de la substitution. Ce retard du temps de prise pourrait être la conséquence d'une plus grande dispersion du laitier qui retarde le taux initial d'hydratation.

De plus, les résultats montrent que les ciments CS20 et DS20 avaient des temps de prise plus rapides que les CEMI. En fait, le CEMI a un taux d'hydratation initial plus rapide car il n'y a pas de particules de laitier pour inhiber la réactivité d'hydratation initiale. Cependant, les ciments CS20 et DS20 ont fait prise rapidement, car moins d'eau est requise par le ciment à laitier par rapport au CEMI. La diminution du rapport E/C tend à réduire le temps de prise à mesure que les particules de ciment se rapprochent et augmentent l'interconnexion entre les produits d'hydratation qui rigidifie le mélange de pâte.

Tableaux .II. 1 Le temps de prise des différents mortiers

Sample	Water of consistency (%)	Initial set (min)	Final set (min)
OPC ₂	27.8	215	243
CS20	26.8	187	242
CS40	27.6	215	265
CS50	26.8	225	290
DS20	27.6	185	210
DS40	28.0	187	228
DS50	28.4	205	246

II-2-2-Mâchefer

Le mâchefer est un résidu de la combustion du charbon ou du coke dans les fours industriels ou bien de celle des déchets ménagers dans les unités d'incinération de déchets non dangereux. On parle alors de mâchefers d'incinération des déchets non dangereux.

Ce matériau risque de devenir de plus en plus rare à mesure que les centrales électriques anciennes passent à la combustion de charbon pulvérisé. Le mâchefer contient une proportion considérable de charbon non brûlé et d'autres impuretés. A la sortie du four d'incinération les mâchefers sont généralement humides et contiennent des éléments grossiers (ex : verre, ferrailles, gros imbrûlés). Il est utilisé principalement pour la fabrication de blocs de béton. Etant donné qu'il contient des sulfates et des chlorures, il n'est pas recommandé pour le béton armé.

En fonction de leurs caractéristiques physico chimiques, ils sont subdivisés en 3 catégories :

*Mâchefers de catégorie « V » à faible fraction lixiviable (fraction d'éléments solubles dans un solvant).

*Mâchefers intermédiaires de catégorie « M ».

*Mâchefers avec forte fraction lixiviable de catégorie « S ».[28]

Chapitre II: valorisation des granulats recyclés dans Les béton



Fig. II. 8 Le mâchefer

Antoun dans sa thèse [29] a substitué respectivement le sable normalisé de 25%, 50%, 75% et 100 % par un sable de mâchefer. Avec l'utilisation de deux types de ciment CEM I 52,5 N et un ciment Sulfoalumineux CSA.

Il conclut que l'incorporation croissante de mâchefer décale le temps du pic de début de prise pour le cas CEMI (figure II.10). Dans ce cas OPC, la substitution croissante de sable normalisé par le mâchefer entraîne un effet retardateur sur l'hydratation. Dans le cas du CSA une accélération de l'hydratation est notée (figure II.11)

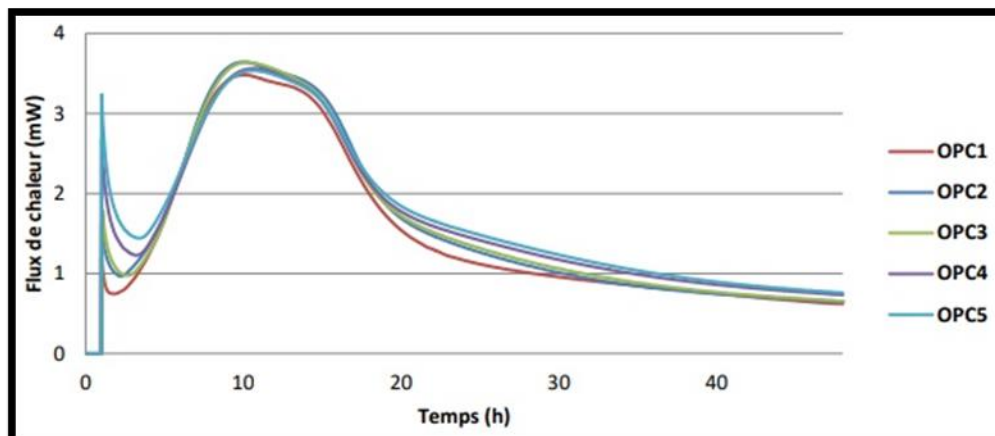


Fig. II. 9 Flux de chaleur pour les mélanges CEMI

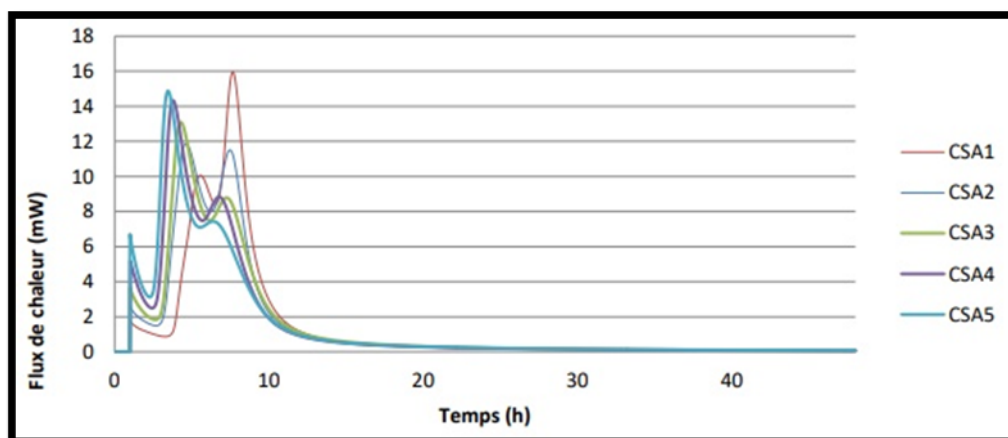


Fig. II. 10 . Flux de chaleur pour les mélanges CSA

Chapitre II: valorisation des granulats recyclés dans Les béton

II-2-3-Le verre

Le verre est un corps solide, non cristallin, homogène, provenant du refroidissement progressif de certaines substances après fusion. C'est l'un des matériaux les plus utiles car il possède de nombreuses qualités. Il est facile à modeler, transparent et peut prendre de nombreuses formes.

Chaque année, des millions de tonnes de verre non réutilisable sont accumulées, dans le but de le recycler. Son utilisation dans la matrice de ciment a une interaction utile.

En étudiant la résistance à la compression du béton témoin, et des bétons avec différents pourcentages de poudre de verre « RGP », Tammana & Tuladhar [30] ont remarqués que le béton témoin montre une meilleure résistance à la compression que le béton RGP à un âge précoce (c'est-à-dire 7 jours). Le béton RGP a eu un impact négatif sur la résistance au jeune âge en raison du retard de la réaction pouzzolanique.

A 56 jours, les bétons RGP (surtout avec 10%) ont gagnés en résistance en raison de la formation de C-S-H supplémentaire plus dense (figure II.12).

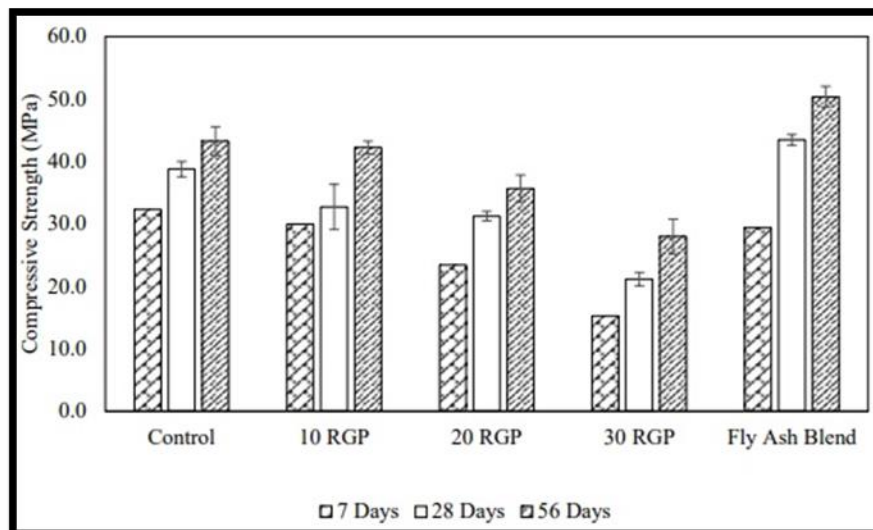


Fig. II. 11 Les résistances à la compression des bétons à RGP

II-2-4-déchets de pneu usagé :

L'augmentation de la production automobile a entraîné une augmentation significative des pneus. Ces dernières ont une durée de vie moins importante que l'engin. En les brûlant, ils causent une grave pollution de l'environnement, telle que la propagation de dioxyde de soufre et de particules de carbone dans l'air.

Le processus de recyclage des pneus, est l'un des projets de recyclage les plus réussis. De nombreuses recherches ont cherché à tirer parti des déchets de pneus en les mélangeant à de l'asphalte pour produire des débris de caoutchouc utilisés dans des projets d'ingénierie et des travaux publics tels que: le blocage des murs de soutènement, le nivellement des pentes, le pavage et la réparation des routes, en raison de leur grande flexibilité pour absorber les chocs, et présentent des avantages tels que la fabrication de béton isolant léger, car il réduit le

Chapitre II: valorisation des granulats recyclés dans Les béton

poids des charges mortes sur la base du temps d'achèvement, économise les coûts de transport et de construction et fournit une isolation thermique élevée sans avoir besoin d'utiliser Refroidissement et chauffages.[31]

II-2-5-Les déchets céramiques

De plus en plus d'industries produisent des déchets qui méritent d'être réutilisés afin d'éviter leur déversement dans l'environnement. La céramique sanitaire est une génération qui résiste très bien à la chaleur et offre une grande résistance à la pression ; cependant, ces céramiques ne peuvent pas être recyclées pour retourner à la chaîne de production dans les usines et sont inévitablement déversées dans l'environnement en tant que déchets.

Une façon d'empêcher l'accumulation de déchets dans l'environnement est de les utiliser comme matériaux de substitution utiles dans les matériaux cimentaires

Dans le travail de Almeida et al.[32] cinq formulations de béton ont été étudiés (tableau II.2). Dans les bétons de référence (RC), à 75 (CSC-III) et 100% (CSC-IV) de substitution, aucun signe de ségrégation n'a été observé. Dans les bétons à 25 (CSC-I) et 50% (CSC-II) de substitution, des écoulements mineurs d'eau de la masse ont été déterminés quelques minutes après leur préparation. Les bétons CSC-III et CSC-IV étaient plus fluides que le béton RC.

Tableaux .II. 2 Affaissement des bétons étudiés

CONCRETE	SLUMP (CM)
RC	25.90
CSC-I	26.90
CSC-II	26.80
CSC-III	24.40
CSC-IV	24.30

Les mêmes résultats en été confirmé par Peter et al.[33]. Ces derniers avaient ciblé un affaissement de 60 à 180 mm pour maintenir un niveau souhaitable de maniabilité. Plus d'eau est absorbée par les déchets de céramique, donc un support d'eau est ajouté pour maintenir la maniabilité. Ils remarqués une diminution linéaire de l'ouvrabilité pour les séries CCA (la série de substitution des gros granulats naturelle par des granulats de déchets céramique). Néanmoins, tout l'affaissement mesuré satisfait l'affaissement ciblé dans le mix de conception (Figure II. 13).

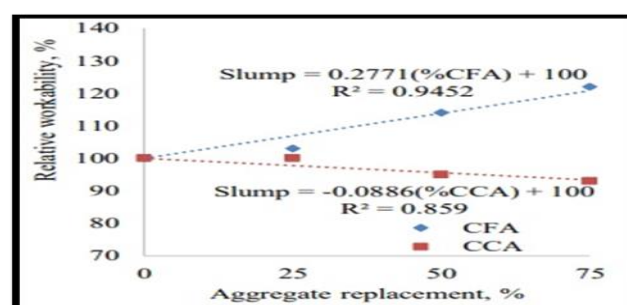


Fig. II. 12 Ouvrabilité des bétons étudiés

Chapitre II: valorisation des granulats recyclés dans Les béton

Dans la même étude les auteurs ont constaté que la densité des bétons à céramique diminué au fur et à mesure de la substitution (Figure II. 14). Ce phénomène est dû à la densité des granulats céramiques par rapport aux granulats naturels (2,2 vs 2,6 respectivement).

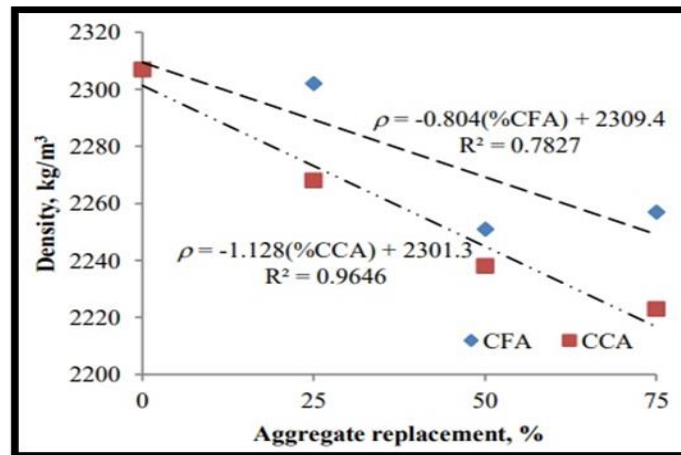


Fig. II. 13 Densité des bétons étudiés

Dans les bétons à haute résistance (HSC) des déchets sanitaires en céramique (CS) comme substituant de granulats grossier en été étudiés par Moasavi et al.[34]. Différents mélanges de béton ont été produits en remplaçant partiellement 10, 20 et 30 % de gros granulats naturels par des granulats recyclés.

La substitution semble avoir un effet significatif sur l'absorption d'eau des mélanges HSC. Selon la figure II. 15, on peut observer que les valeurs d'absorption des échantillons HSC ont augmenté avec l'inclusion de céramique recyclée comme granulat grossier dans le béton. Ceci est peut-être dû à la nature poreuse des granulats céramique recyclé qui avait une capacité d'absorption supérieure aux granulats naturels.

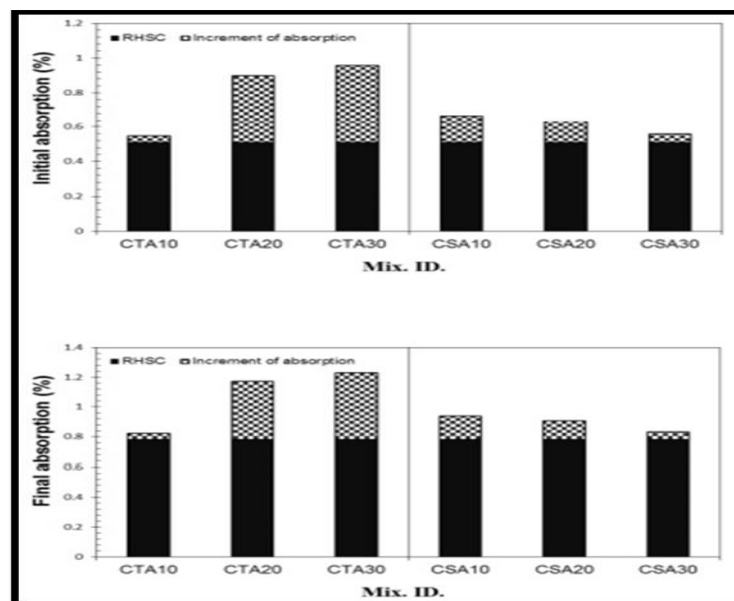


Fig. II. 14 L'absorption des bétons à haute résistance ; initiale en haut, finale en bas

Chapitre II: valorisation des granulats recyclés dans Les béton

Selon Amin et al.[35], la zone de transition interfaciale entre les granulats grossier des déchets céramique « CWA » et la pâte de ciment est très étroite. La figure II. 16 illustre les images SEM de la zone interrassiale entre les granulats grossiers des déchets céramiques et les mélanges de référence, de fumée de silice et de métakaolin (des bétons à hautes performance) à 7 jours.

Les auteurs ont remarqué, une forme de distribution « edgy », d'où leurs tendances accrues à se coincer dans le mélange de béton. Ce phénomène est efficace en termes de cohésion matérielle. La pâte de ciment présente une cohérence élevée, une structure dense et un nombre limité de vides visibles en raison de la présence de fumée de silice ou de métakaolin. La figure II.16.b et c montrent également que la limite entre les déchets céramiques et la pâte de ciment est à peine distincte même à un grossissement de 2000.

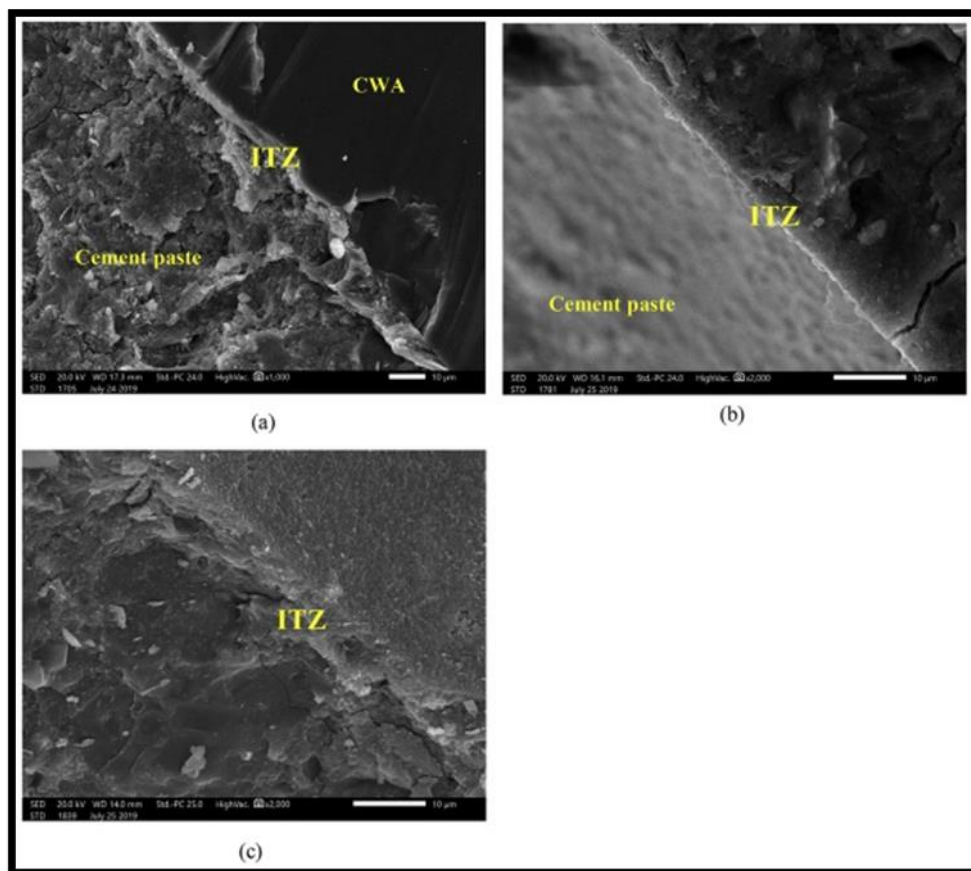


Fig. II. 15 . Images MEB de la zone de transition entre les CWA et la pâte de ciment.

Chapitre III : Essais et résultats

III-1-Introduction

Le béton est le principal matériau industriel de construction et le plus utilisé dans le monde, composé de sable, de Gravier, de ciment et d'eau.

Dans ce chapitre, un béton ordinaire est formulé par la méthode Dreux-Gorisse. Mais, la fraction graveleuse est substituée par un gravier issu des déchets céramique. Afin de comprendre l'effet de la substitution, trois pourcentages sont choisis par incrément de 10%, plus un béton de référence. Le béton de référence avec du gravier naturel et trois béton ordinaire avec 10%, 20% et 30% de gravier de déchets céramique seront étudiés dans ce chapitre.

III-2-Les matériaux utilisés

Le choix des matériaux s'est porté sur leur disponibilité dans la région de M'sila. Les matériaux utilisés sont (tableau III.1):

- *Le sable (0/5) de la région de BOUSAADA (Oued Maitar).
- *Le gravier (3/8) , (8/15) , (15/25) concassé de M'sila.
- *Un ciment de type CEM I 42.5N fournie par le groupe Lafarge-Holcim établie à M'sila.
- *L'eau potable du laboratoire de génie civil.
- *Un gravier concassé au laboratoire, à base de déchets céramique sanitaire (8/15).

Tableaux.III. 1 les différents matériaux utilisés pour la confections des bétons

Le ciment



Le Gravier céramique



Le sable naturel



Gravier 3/8



Gravier 8/15



Gravier 15/25



III-3- Caractérisation des matériaux utilisés

III-3-1-Les sables

III-3-1-1-La masse volumique, porosité et indices des vides (NF P 18-555)

La masse volumique absolue est la masse de l'unité de volume absolu du corps (tableaux III.2), c'est-à-dire que la matière qui constitue le corps, sans tenir compte du volume des vides.

On détermine la masse volumique absolue des sables (Figure III.1) à l'aide du récipient de capacité 1000 ml.

*On prend 03 échantillons de masse 300g

*On place l'échantillon dans le récipient de capacité 1000 ml et on y verse « Ve=150 ml » d'eau préparé préalablement dans 2ème 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_m) ce volume.

*Le volume du sable est : $V_s = V_m - V_e$

La masse volumique absolue du sable est déterminée par la formule : $\rho = \frac{M}{V_s}$

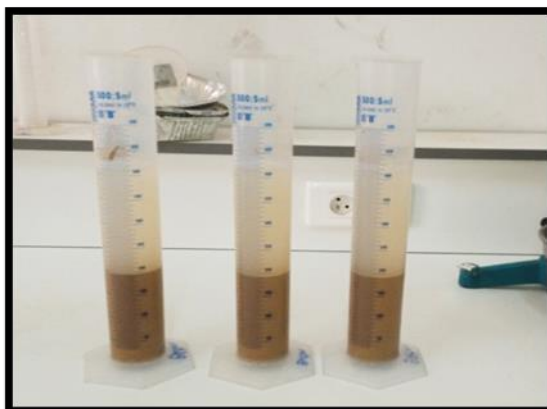


Fig.III. 1 . La masse volumique absolue du sable

Tableaux.III. 2 . Masse volumique absolue du sable de dune

N°d'essai	M [g]	Ve [cm ³]	V _m [cm ³]	ρ [g /cm ³]	ρ _{moy} [g /cm ³]
01	300	150	265	2,61	2,61
02	300	150	265	2,61	
03	300	150	265	2,61	

Les masses volumiques apparentes et absolues des granulats sont calculés d'après la norme française NF P18-555.

C'est la masse de l'unité de volume apparent du corps, c'est-à-dire du volume constitué par la matière du corps et les vides qu'elle contient.

On détermine la masse volumique apparente du sable (Tableaux III.3) à l'aide d'un entonnoir standardisé de capacité 2 à 2,5 litres (figure III.2).

*On remplit l'entonnoir avec du sable sec.

- *On pèse le récipient sous l'entonnoir à une distance de 10 à 15 cm et on le remplit.
- *On nivelle la surface du sable et on pèse le tout soit M_2 ce poids.
- * Connaissant le volume de récipient $V_r = 900 \text{ cm}^3$

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

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



Fig.III. 2 Détermination de la masse volumique apparente.

Tableaux.III. 3 Masse volumique apparente du sable de dune à l'état lâche

N°d'essai	M1 [g]	M2 [g]	ρ [g/cm ³]	ρ_{moy} [g/cm ³]
01	116	1456,8	1,49	1,49
02	116	1452,5	1,49	
03	116	1460,9	1,49	

La masse volumique à l'état compact (Tableaux III.4), est la masse du matériau par unité de volume après remplissage du récipient et le compacter par tassement à 30 secousses manuelles, jusqu'au remplissage du récipient après on nivelle ce dernier et on le pèse, soit M_2 la masse de l'ensemble (sable +récipient) M_1 la masse du récipient.

La masse volumique à l'état compacte est donnée par la formule suivante : $\rho_c = (M_2 - M_1) / V_r$
 -Volume de récipient $V_r = 900 \text{ cm}^3$

Tableaux.III. 4 .Masse volumique apparente du sable de Boussaâda à l'état compact

N°d'essai	M1 [g]	M2 [g]	ρ [g/cm ³]	ρ_{moy} [g/cm ³]
01	115,1	1525,1	1,57	1,57
02	115,1	1526,1	1,57	
03	115,1	1524,1	1,57	

Toujours selon la même norme on peut calculer la porosité, la compacité et l'indice de vides.

*La porosité

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

$$P (\%) = 100 - (Masse\ volumique\ apparente / masse\ volumique\ absolue) / 100$$

À l'état lâche :

$$PL = [1 - (\rho_{app} / \rho_{abs})] \cdot 100\%$$

-Pour le sable de dune PLSD= 42.92 %

À l'état compact :

$$PC = [1 - (\rho_{app} / \rho_{abs})] \cdot 100\%$$

-Pour le sable de dune PCSD=39.85%

***La compacité**

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

$$C = 1 - (\rho_{app} / \rho_{abs}) = 100 - P$$

-Pour le sable de dune :

Etat lâche : CLSD = 57.08%

***L'indice des vides :**

L'indice des vides est le rapport entre le volume du vide et le volume de solide. Avec « P » en pourcent (%). $E = P/C$

-Pour le sable de dune :

Etat lâche : ELSD = 0,75 %

Etat compacte : ECSD= 0,66 %

-Les résultats sont représenté dans les tableaux suivants (tableau III.5):

Tableaux.III. 5 Porosité, compacité et indice des vides pour le sable de dune

Porosité P(%)		Compacité C(%)		Indice des vides E	
Lâche	Compact	Lâche	Compact	Lâche	Compact
42,92	39,83	57,08	60,17	0,75	0,66

III-3-1-3-La teneur en eau (NF P 18-555)

La teneur en eau d'un matériau est le rapport du poids d'eau contenu dans ce matériau au poids du même matériau sec. On peut aussi définir la teneur en eau comme le poids d'eau W (tableaux III.6) contenu par unité de poids de matériau sec.

$$W = (M_h - M_s) / M_s \times 100 (\%)$$

Où :

M_h : Masse du matériau humide ;

M_s : Masse du matériau sec.

Pour avoir cette teneur il faut :

*Peser un échantillon de sable humide, soit « M_h » son poids (500g) et le laisser 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.

Tableaux.III. 6 Teneur en eau du sable de dune

N° d'essai	M_h en [g]	M_s en [g]	W [%]	W_{moy} [%]
01	500	499	0,20	0,27
02	500	498	0,40	
03	500	499	0,20	

III-3-1-4-Analyse granulométrique (NF P 18-560)

L'analyse granulométrique a pour but de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéreux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon, la distribution en poids des particules d'un granulat suivant leurs dimensions permet de déterminer ses continuités.

Pour arriver à notre fin, il faut :

- *Prélever une masse de 2kg de matériau (Sable sec).
- *Peser chaque tamis à vide, soit « m_i » la masse du tamis.
- *Constituer une colonne de tamis (figure III.3) propres et sec dont l'ouverture des mailles de haut en bas (exprimée en mm) [5, 2.5, 1.25, 0.63, 0.315, 0.125, 0.08]
- *Verser le sable sur la colonne de tamis et celle-ci est vibrée à l'aide de la tamiseuse électrique pendant 5 minutes.
- *Peser chacun des tamis.

On considère que le tamisage est terminé lorsque les refus ne varient pas de plus de 1% entre deux séquences de vibration de la tamiseuse.

A la fin de tamisage peser les refus en matière retenue par chaque tamis a 1g. Soit

M_i = la masse de tamis (i) + le sable

- *Calculer la différence entre M_i et m_i (tamis de plus grandes mailles correspond au refus partiel R_1 de tamis 1).
 - *Reprendre la même opération avec le tamis immédiatement inférieur.
 - *Ajouter le refus obtenu sur le second tamis a R_1 , soit R_2 la masse de refus m du tamis 2 ($R_2 = R_1$ + refus partiel sur tamis 2)
 - *Poursuivre la même opération avec le reste des tamis pour obtenir les masses de différents refus cumulés R_3, R_4, \dots, R_n le tamisât est calculé par la relation : $T = 100 - R_c$
- R_c : refus cumulé en %, T : tamisât en %



Fig.III. 3 Analyse granulométrique par tamisage

Les résultats de ces opérations, sont transcrites aux tableaux III.7 :

Tableaux.III. 7 . Analyse granulométrique du sable de dune

Tamis [mm]	Refus [g]	Refus cumulés		Tamisât [%]
		[g]	(%)	
5	0.001	0	0.00	100
2,5	27	27	1.35	98,65
1,25	58	85	4.25	95,75
0,63	85	170	8.5	91,50
0,315	492	662	33.10	66,9
0,16	1171	1833	91.65	8,35
0,08	155	1988	99.40	0,60
Fond	12	2000	100	0,00

Tableaux.III. 8 . Analyse granulométrique du sable de dune

Tamis [mm]	Refus [g]	Refus cumulés		Tamisât [%]
		[g]	(%)	
5	0.001	0	0.00	100
2,5	27	27	1.35	98,65
1,25	58	85	4.25	95,75
0,63	85	170	8.5	91,50
0,315	492	662	33.10	66,9
0,16	1171	1833	91.65	8,35
0,08	155	1988	99.40	0,60
Fond	12	2000	100	0,00

On remarque que le module de finesse du sable de dune est 1.38 ce qui veut dire que c'est un sable fin.

III-3-1-2-Equivalent de sable (NF P 18-598)

Cet essai nous permet de mettre en évidence la proportion d'impuretés contenues dans le sable et le pourcentage de poussières nuisibles et les éléments argileux qui diminuent la qualité des bétons et provoque des gonflements et des retraits.

Les différentes étapes sont les suivantes :

- *Tamiser une quantité de sable (masse supérieure à 500g).
- *Remplir l'éprouvette de solution lavant jusqu'au premier repère.
- *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 les bulles d'air.
- *Laisser reposer pendant 10 minutes.
- *Fermer l'éprouvette à l'aide du bouchon en caoutchouc et lui imprimer 90 cycles de 20cm de course horizontale en 30 secondes à l'aide d'un agitateur mécanique (figure III.4).
- *Retirer le bouchon, le rincer avec la solution lavant au-dessus de l'éprouvette, rincée ensuite les parois de cette dernière.
- *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,
- *Effectuer cette opération jusqu'à ce que la solution lavant atteigne le 2ème repère, laisser ensuite reposer pendant 20 minutes.

Pour savoir l'équivalent de sable visuel (E.S.V tableaux III.10 et III.11) :

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

$$ESV = (h_2 / h_1) \times 100 (\%)$$

Pour savoir l'équivalent de sable piston (E.S.P tableaux III.8):

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

$$E.S.P = (h' / h_1) \times 100 (\%)$$



Fig.III. 4 Agitateur pour équivalent de sable

Tableaux.III. 9 Equivalent de sable pour sable de dune

N°d'essai	h ₁ [cm]	h ₂ [cm]	ESV [%]	Moy [%]	h' ₂ [cm]	ESP [%]	Moy [%]
01	12,1	11,6	95,87	94,29	11	90,91	90,74
02	12,3	11,3	91,87		11	89,43	
03	12,3	11,7	95,12		11,3	91,87	

III-3-2-Le gravier

III-3-2-1- La masse volumique absolue

Idem que la norme utilisé pour le sable. Les résultats pour les trois fractions sont résumés au tableau III.9.

Tableaux.III. 10 La masse volumique absolue des graviers

Fraction	N° d'essai	M[kg]	V _e [cm ³]	V ₁ [cm ³]	ρ [g/cm ³]	ρ _{moy} [g/cm ³]
3/8	1	400	400	550	2.27	2.67
	2	400	400	550	2.27	
	3	400	400	550	2.27	
8/15	1	400	400	546	2.74	2.64
	2	400	400	560	2.5	
	3	400	400	550	2.67	
8/15céramique	1	300	300	432.5	2.26	2.28
	2	300	300	431.5	2.28	
	3	300	300	430	2.31	
15/25	1	300	300	415	2.61	2.57
	2	300	300	415	2.61	
	3	300	300	420	2.50	

III-3-2-2-La masse volumique apparente

Pour avoir cette caractéristique, il faut :

- *Sécher le matériau jusqu'à un poids constant ;
- *Peser le récipient à l'état vide « M₁ », puis le poser sur une table. A l'aide d'une pelle remplir le 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 à l'environ de 10 cm ;
- *Peser de nouveau le récipient plein de gravier .soit« M₂ » ce poids.

La masse volumique apparente (tableau III.10 et III.11) est déterminée par la formule suivante :

$$\rho = \frac{M_2 - M_1}{V}$$

Tableaux.III. 11 La masse volumique apparente des différents granulats

Fraction	N° d'essai	M ₁ [kg]	M ₂ [kg]	V [L]	ρ [kg/L]	ρ _{moy} [kg/L]
3/8	01	2,922	12,635	7	1,39	1,39
	02		12,631		1,39	
	03		12,679		1,39	
8/15	01	3,468	16,882	10	1,34	1,37
	02		17,191		1,37	
	03		17,432		1,40	
15/25	01	7,292	34,79	20	1,38	1,41
	02		35,485		1,41	
	03		36,29		1,45	

Tableaux.III. 12 . La masse volumique apparente du gravier céramique.

Fraction	N° d'essai	M ₁ [kg]	M ₂ [kg]	V [L]	ρ [kg/L]	ρ _{moy} [kg/L]
8/15	1	3.468	12.32	10	0.89	1.06
	2		13.2		0.97	
	3		16.78		1.33	

III-3-2-3-Porosité, Compacité et Indice des vides des graviers :

La même norme (NF P18-555) est suivie pour avoir ces caractéristiques (tableau III.12 et III.13)

Tableaux.III. 13 La porosité, compacité et indices des vides des graviers

Fraction	Porosité [%]	Compacité [%]	indice des vides [%]
3/8	47,95	52.05	0,92
8 / 15	48,11	51.89	0,92
15/25	45,14	54.86	0,82

Tableaux.III. 14 . La porosité, compacité et indices des vides des graviers céramique

Fraction	Porosité [%]	Compacité [%]	indice des vides [%]
8/15	53.5	46.5	1.15

III.3.2.4. Teneur en eau NF P 18-555

La teneur en eau d'un matériau est le rapport du poids d'eau contenu dans ce matériau au poids du même matériau sec. On peut aussi définir la teneur en eau comme le poids d'eau W (tableaux III.12 et III.13) contenu par unité de poids de matériau sec.

$$W = (M_h - M_s) / M_s \times 100 (\%)$$

Où :

M_h : Masse du matériau humide ;

M_s : Masse du matériau sec.

La teneur en eau des différents graviers est représentée au tableau suivant (Tableau III.14).

Tableaux.III. 15 Teneur en eau du gravier.

	N°d'essai	M _h en [g]	M _s en [g]	W [%]	W _{moy} [%]
3/8	1	1000	997.5	0.25	0.316
	2		996	0.40	
	3		997	0.30	
8/15	1	1400	1395	0.358	0.332
	2		1395	0.358	
	3		1396	0.28	
8/15céramique	1	1400	1398	0.14	0.17
	2		1397	0.21	
	3		1397.8	0.157	
15/28	1	1500	1495	0.33	0.39
	2		1494	0.43	
	3		1494	0.43	

III-3-2-4-Analyse granulométrique

Les résultats de chaque fraction, sont présentés dans Les tableaux III.15, III.16 ; III.17 et III18.

Tableaux.III. 16 . Analyse granulométrique du sable de dune

Tamis [mm]	Refus [g]	Refus cumulés		Tamisât [%]
		[g]	(%)	
5	0.001	0	0.00	100
2,5	27	27	1.35	98,65
1,25	58	85	4.25	95,75
0,63	85	170	8.5	91,50
0,315	492	662	33.10	66,9
0,16	1171	1833	91.65	8,35
0,08	155	1988	99.40	0,60
Fond	12	2000	100	0,00

Tableaux.III. 17 L'analyse granulométrique du gravier 3/8

Tamis [mm]	Refus partiel [g]	Refus cumulés		Tamisât [%]
		[g]	(%)	
8	37	37	2,31	97,69
6,3	171	208	13,00	87,00
5	673	881	55,06	44,94
2.5	478	1359	84,94	15.06
1.25	182	1541	96,31	3,69
Fond	59	1600	100,00	0,00

Tableaux.III. 18 L'analyse granulométrique du gravier 8/16

Tamis [mm]	Refus partiel [g]	Refus cumulés		Tamis [%]
		[g]	(%)	
16	258	258	8,06	91,94
12,5	969	1227	38,34	61,66
10	1198	2425	75,78	24,22
8	548	2973	92,91	7,09
Fond	227	3200	100,00	0.00

Tableaux.III. 19 L'analyse granulométrique du gravier 16/25

Tamis [mm]	Refus partiel [g]	Refus cumulés		Tamis [%]
		[g]	[%]	
25	408	408	8,16	91,84
22,4	557	965	19,30	80,70
20	1670	2635	52,70	47,30
18	1470	4105	82,10	17,90
16 k	640	4745	94,90	5,10
Fond	225	5000	100	0

Tableaux.III. 20 L'analyse granulométrique du gravier 8/16 céramique.

Tamis [mm]	Refus partiel [g]	Refus cumulés		Tamis [%]
		[g]	[%]	
16	0	0	0,00	100
12,5	2352	2352	73.5	26,00
10	550	29.02	90.68	9.32
8	253	31.55	98.59	1.41
Fond	45	3200	100,00	0.00

III.3.2.6. Essai de résistance au choc (Essai Los Angeles) NF P 18-573

Cet essai renseigne sur la dureté des roches se basant sur un coefficient, appelé coefficient Los Angeles LA, et sur le principe de l'effritement par abrasion (figure III.5).

L'essai consiste à mesurer la masse « m » d'éléments inférieurs à 1.6 mm, produits par la fragmentation du matériau testé (diamètres compris entre 4 et 50 mm) et que l'on soumet aux chocs de boulets normalisés, dans le cylindre de la machine Los Angeles en 500 rotations.

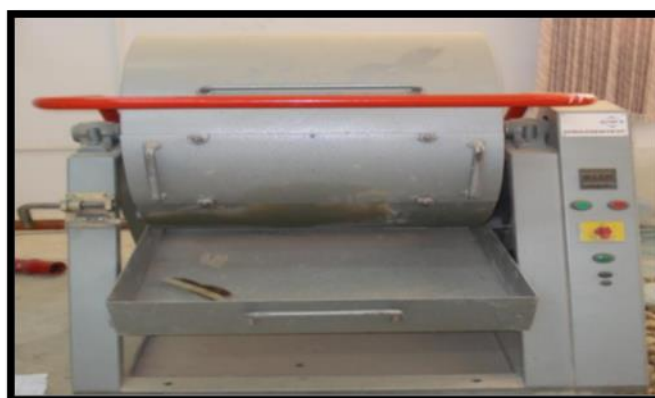


Fig.III. 5 Appareil de l'essai Los Angeles

Les résultats obtenus sont présentés au tableau suivant (Tableau III.19)

Tableaux.III. 21 Coefficient LA du gravier céramique.

Fraction de Gravier	Nombre de boules	M(kg)	m(kg)	Coef LA %
Gravier8/15céramique	11	5	0.81	16.2%

Selon la norme ce gravier est bon pour son utilisation dans les bétons

III-3-3- Caractéristiques du ciment utilisé (CEMI MOUKAWIM)

Le ciment utilisé dans notre étude est un CEM I 42,5N-SR3 (Figure III.6) de la cimenterie Lafarge-Holcim Groupe M'sila. C'est un ciment gris résistant aux sulfates, résultant de la mouture d'un clinker contenant un faible taux d'aluminates de calcium avec une proportion de gypse inférieure à celle d'un ciment portland composé. Quelques-unes de c'est caractéristique sont résumées au tableau III.20.

Tableaux.III. 22 . Quelque élément chimique du ciment utilisé.

Elément	Perte au feu	SO ₃	MgO	Chlorures
%	0,5 à 3 %	1,8 à 3 %	1,2 à 3 %	0,01 à 0,05%



Fig.III. 6 Image du sac du ciment utilisé

III-3-4- Eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée pour la confection est l'eau potable du robinet. La masse volumique prise en compte pour les calculs de formulation est de 1000 kg/m³.

III-4-Formulation du béton

Avec l'aide de la méthode de Dreux-Gorisse (Figure III.7) quatre (04) bétons ont été confectionnés :

-Béton témoin BO: est un mélange ordinaire formulé à partir de trois classes granulaires: sable, gravillon (3/8) gravillon (8/15) et gravillon (15/25).

-Bétons modifiés BT10, BT20 et BT30: C'est des bétons ordinaires mais, la fraction gravleuse (Gravier 8/15) est substituée par 10, 20 et 30% par un gravier d'origine céramique sanitaire.

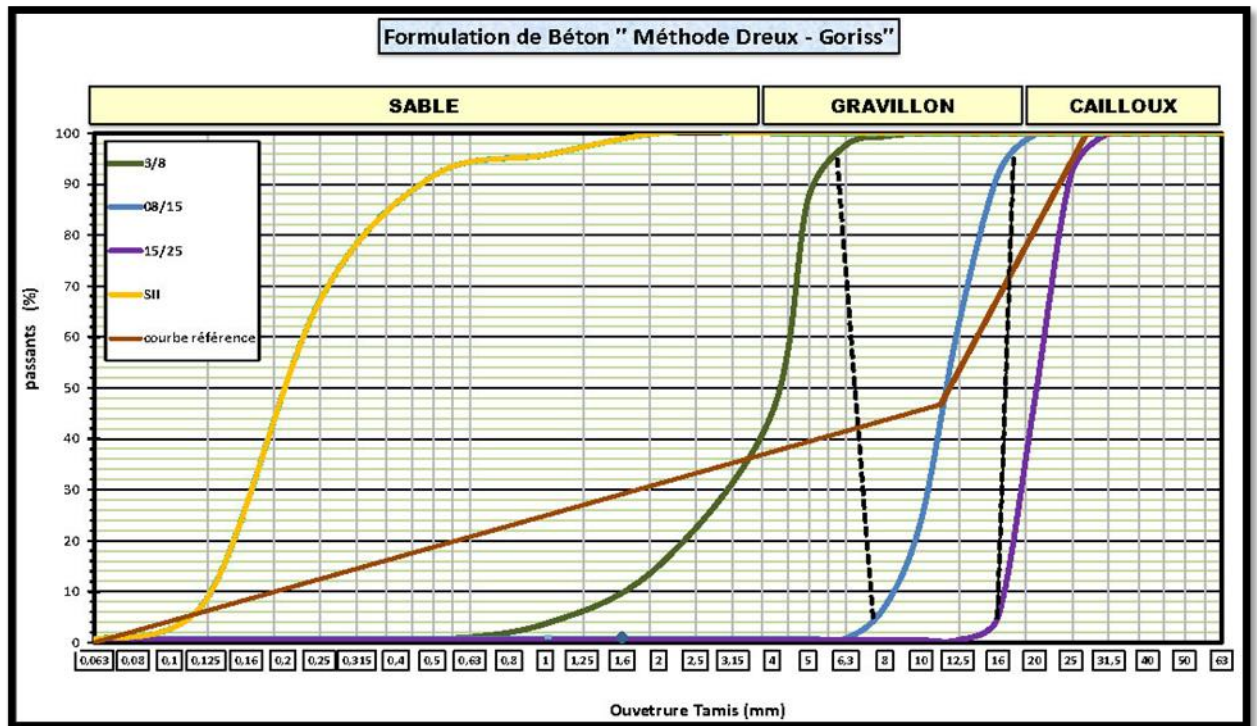


Fig.III. 7 . La courbe de référence selon la méthode Dreux-Gorisse

Cette courbe de référence nous a permis de fixer la quantité (tableau III. 21) de chaque élément de notre béton

Tableaux.III. 23 Formulation du béton pour 1m³

Eléments	Formulation pour 1 m ³
Ciment	350
Sable de dune	636,4
Gravier 3/8	287,2
Gravier 8/15	586,9
Gravier 15/25	368,6
Eau	175

III-4-1-Malaxage des bétons

La préparation du mélange à été faite en respectant soigneusement les démarches suivantes normalisés. L'introduction des composants se fait par ordre décroissant de la finesse pour les graviers et le sable. Après un malaxage primaire des granulats, un deuxième malaxage, est effectué après l'introduction du ciment afin de répartir toute la quantité dans le malaxeur. A la fin, on ajoute de l'eau progressivement (figure III.8).



Fig.III. 8 Malaxage du béton ordinaire

III-4-2-Confection Des Éprouvettes

Pour les besoins de notre étude et selon la nature de l'essai à réaliser, on a utilisé des moules cubiques (10×10×10) cm³ et des moules prismatiques (7×7×28) cm³, pour la confection des différents bétons. Le nombre d'échantillons pour chaque essai est de trois (03) afin d'avoir une moyenne représentative (Figure III.9).



Fig.III. 9 Confection des bétons étudiés

III-4-3-Moulage et démoulage

Après le malaxage qui dure environ 5-10 minutes, le béton est prêt à l'emploi. Il est introduit dans des moules déjà graissés par une huile pour faciliter le démoulage après 24 heures de leur coulage. Le coulage est exécuté en deux couches vibrées jusqu'à la stabilisation de niveau du béton. Le but de la vibration est le remplissage parfait du moule.

A la fin du coulage, il faut araser les éprouvettes à l'aide d'une règle selon les normes NF P18-422 et 423. La face supérieure de l'éprouvette doit être lisse et bien finie.

Après 24 heures, les éprouvettes sont démoulées. Ils sont ensuite soumis, jusqu'à la date de l'essai à une cure humide (figure III.10).



Fig.III. 10 . Etiquetage des différents bétons

III-5-Essai Sur béton frais

III-5-1-Affaissement au cône d'Abrams (NF P18-451)

L'essai au cône d'Abrams, appelé aussi « Slump test » est incontestablement un des plus simple et des plus fréquemment utilisés pour déterminer la consistance du béton. Il s'agit

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

Pour mesurer l'affaissement on introduit le béton frais dès la fin de sa confection en trois couches recevant chacune 25 coups de piquage. Après l'arasage et le démoulage en soulevant le moule, on mesure la hauteur par laquelle le béton c'est enfoncer (figure III.11).



Fig.III. 11 Essai d'affaissement au cône d'Abrams

D'après la figure suivante (figure III.12) on constate une augmentation de l'affaissement avec l'incorporation de la substitution. La glaçure appliquée au céramique sanitaire leur donne une brillance mais aussi une imperméabilité. Cette dernière à effet immédiat de l'écoulement de l'eau, ce qui est d'ailleurs rapportée par Alves et al ³⁰.

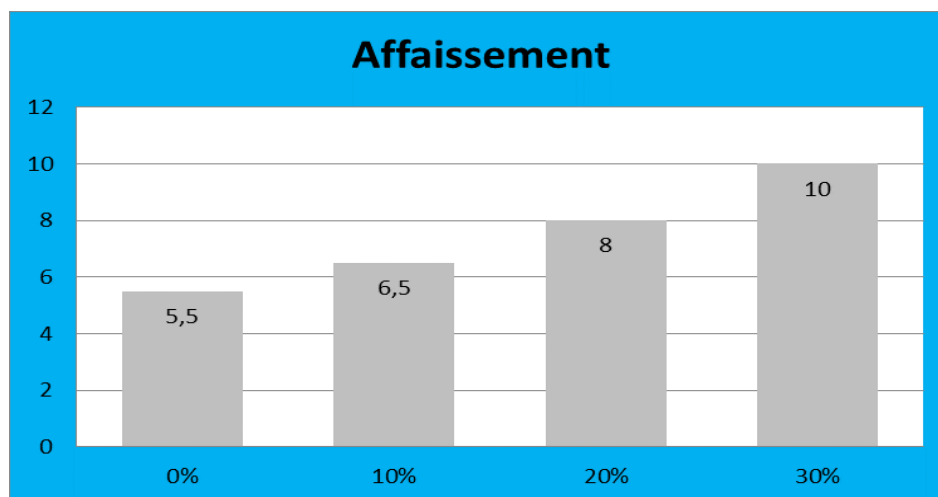


Fig.III. 12 Affaissement des différents bétons.

III-6-Essais sur béton durci

III-6-1-La masse volumique

Avant chaque date d'essai destructif des éprouvettes, leurs masses est mesurées. La masse volumique d'un corps, est la masse de l'unité sur le volume de ce corps, effectué sur

³⁰ Alves, A. V., Vieira, T. F., De Brito, J., & Correia, J. R. (2014). Mechanical properties of structural concrete with fine recycled ceramic aggregates. *Construction and Building Materials*, 64, 103-113.

des éprouvettes de forme cubiques de dimensions $(10 \times 10 \times 10) \text{ cm}^3$, la masse volumique est donnée par la formule suivante :

$$\rho = \frac{M}{V} [\text{Kg}/\text{m}^3]$$

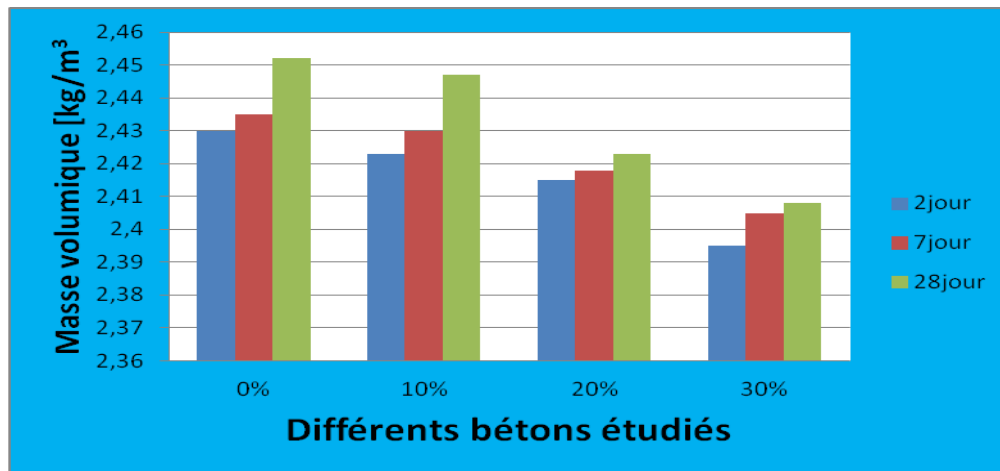


Fig.III. 13 . La masse volumique des bétons élaborés.

On constate d'après la figure III.13, une diminution de la masse volumique des différents bétons avec l'incorporation et l'augmentation du pourcentage de la substitution. Cette diminution est due à la différence de la masse volumique des deux graviers utilisés (tableau III.9). Le passage de la masse volumique des sables de 2.64 à 2.28 (gravier naturel et gravier céramique respectivement) diminue la masse volumique du béton tout en restant dans la catégorie des bétons moyens.

III-6-2-Résistance à la compression

L'essai de résistance à la compression (Essai d'écrasement) a été effectué par l'application d'un effort de chargement sur une éprouvette cubique $(10 \times 10 \times 10) \text{ cm}$, jusqu'à rupture dans une presse d'essai de compression.

La presse utilisée est une machine de type CONTROLS ayant une capacité maximale de 3000KN. Les échantillons conservés dans l'eau ont été séchés à l'atmosphère de laboratoire avant l'âge d'essai (2,7,28 jours).



Fig.III. 14 Machine d'essai de résistance à la compression

Les résultats de cet essai sont illustrés dans la figure III.15. D'après les résultats obtenus on remarque que les résistances à la compression des quatre formulations augmentent avec le temps entre 2 et 28 jours. On remarque également la diminution de la résistance à fur et à mesure que la substitution augmente. Ceci est due peut-être à l'absorption d'eau plus élevée des graviers céramiques recyclés utilisés, engendrant une réduction du rapport eau/ciment effectif avec le rapport de substitution, entraînant ainsi une résistance à la compression plus faible.

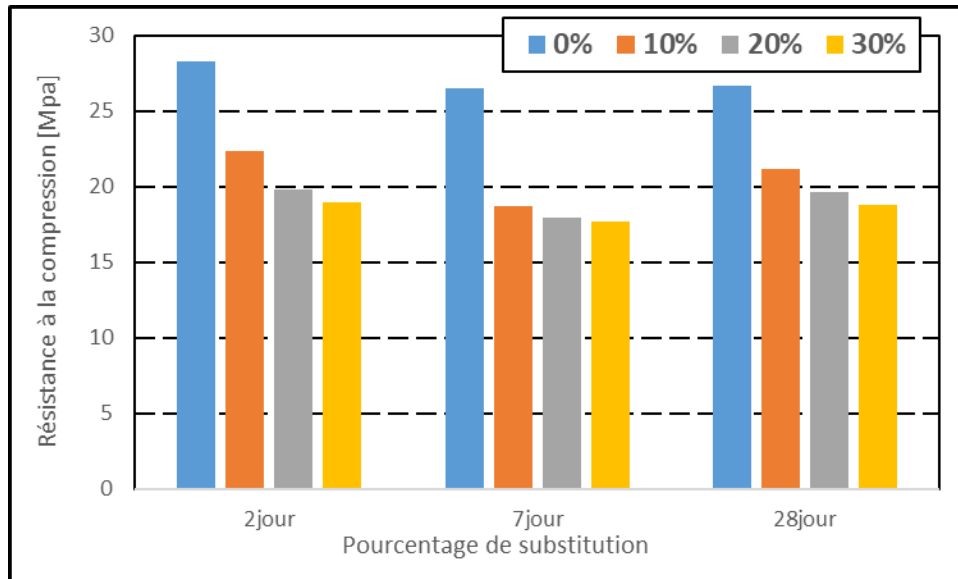


Fig.III. 15 Résistance à la compression des différents bétons [Mpa]

III-6-3- Essai au scléromètre

L'essai au scléromètre (figure III.16) consiste à projeter une masse sur la surface du béton avec une énergie initiale constante. Suite au choc, une partie de l'énergie est absorbée par le béton, l'autre partie provoque le rebondissement de la masse.

La mesure de la dureté au choc permet d'évaluer la résistance d'un béton de manière non destructive. Cette méthode est intéressante en raison de sa simplicité; elle permet de faire rapidement des contrôles de régularité des bétons d'un ouvrage. Le principe de base de l'essai au scléromètre est que le rebond d'une masse élastique dépend de la dureté de la surface sur la quelle frappe la masse. Il s'agit de tester la dureté de surface d'un 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.



Fig.III. 16 Essai au scléromètre

Dans la figure III.17, on remarque que l'indice sclérométrique augmente avec le temps. Cet indice enregistre aussi une augmentation lorsque la substitution est introduite. Ce test confirme le test précédent. Malgré la substitution, tous les bétons avec du gravier céramique enregistrent un indice très proche du béton témoin.

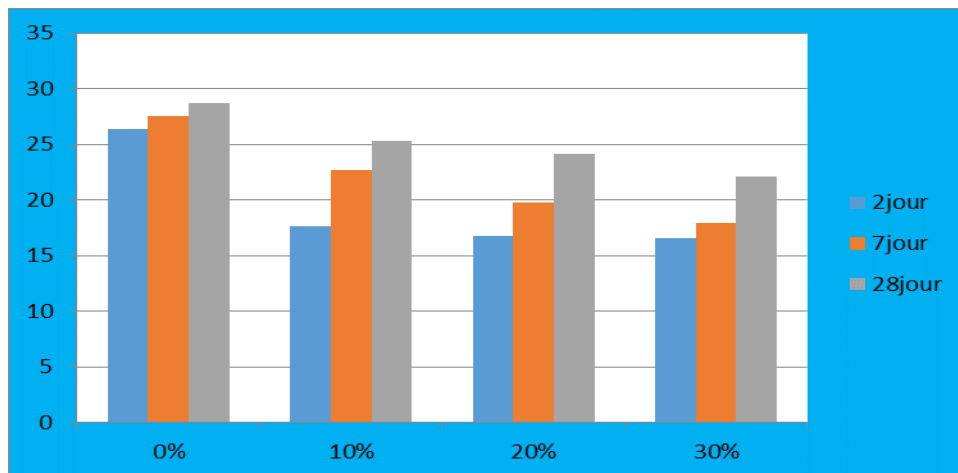


Fig.III. 17 . Essai sclérométrique.

III-6-4-Retrait

La mesure de retrait consiste à évaluer les variations des déformations (ΔL) par rapport aux longueurs initiales (L_0) de l'éprouvette en fonction de temps ($\Delta L / L_0$) en ($\mu m / m$). ΔL et L_0 sont mesurés à l'aide d'un déformomètre équipé d'un comparateur (figure III.18) permettant de réaliser des mesures avec une exactitude inférieure ou égale à 0.005mm, une tige de 280 mm de longueur doit mettre le comparateur à zéro. Cette tige est en INVAR de façon à ce que les variations de température, au cours de la manipulation, n'entraînent par des modifications appréciables sur sa longueur « l ».



Fig.III. 18 Appareil de retrait.

D'après la figure III.19, on remarque que la courbe de retrait est dévisée en deux parties ; une pente raide dans les premiers jours, puis une stabilisation.

Avec l'augmentation du taux de substitution de 10 à 30% le retrait augmente de façon proportionnelle. Le plus court retrait est enregistré pour le béton ordinaire à 0% gravier céramique les plus long est celui du béton avec 30% de gravier céramique.

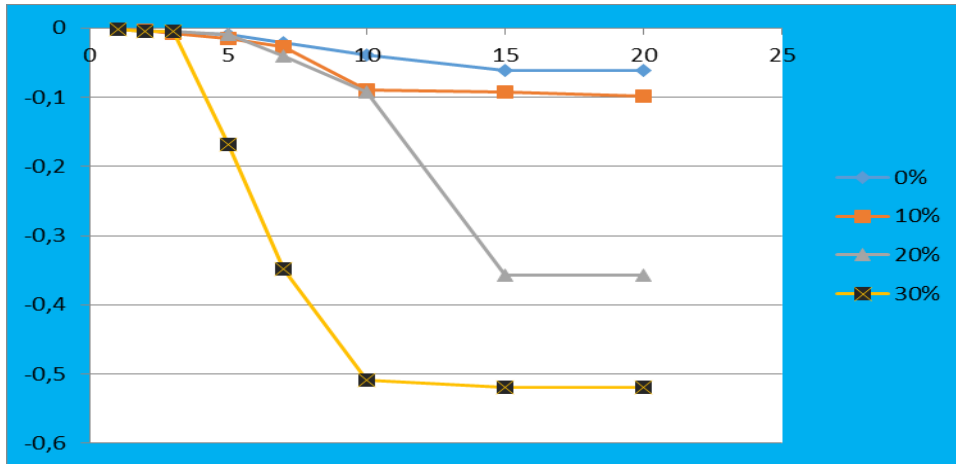


Fig.III. 19 Appareil de retrait.

III-6-5- Essai d'absorption par immersion

L'absorption par immersion a été effectuée, en séchant les éprouvettes cubiques (10x10x10 cm³) du béton à l'étuve jusqu'à masse constante, ensuite en les immergeant totalement dans l'eau pendant 24h à 20°C à la pression atmosphérique (c'est-à-dire jusqu'à saturation du matériau). L'essai a pour but de déterminer la porosité accessible du béton. La porosité du béton est définie par la formule suivante :

$$A = \frac{M_2 - M_1}{M_2}$$

Avec:

A : coefficient d'absorption ;

M₁: poids sec du matériau ;

M₂: poids humide du matériau

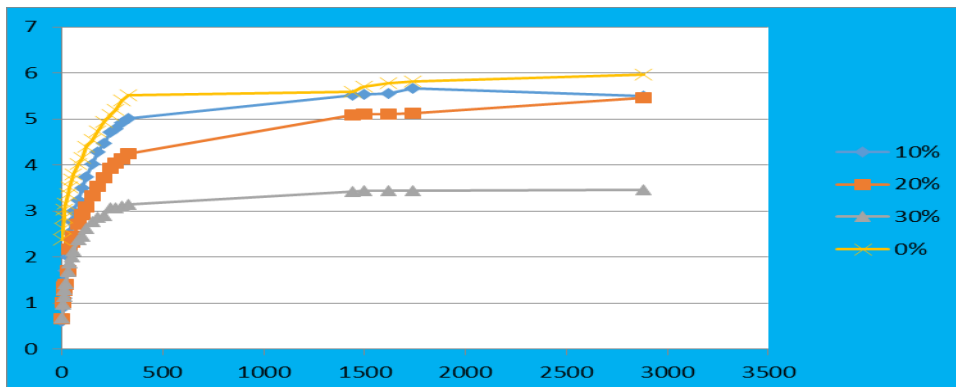


Fig.III. 20 . Absorption totale des bétons étudiés

Dans cet essai, on remarque que la masse absorbée par les bétons de céramique est plus petite que celle du béton ordinaire. De plus, cette absorption diminue avec l'augmentation du dosage en céramique (figure III.20).

Ceci est dû peut être à un réseau poreux plus important dans les graviers céramiques. Ce réseau est saturé en eau c'est pour cela que ces types de béton n'arrive pas à absorber plus d'eau dans leur réseau.

III-6-6- l'absorption capillaire

L'éprouvette de béton est conditionnée en chambre humide (95% HR et T 20°C) pendant la période de maturation étudiée (28 jours) et séchée dans une étuve ventilée pendant un minimum de 7 jours à 45°C, jusqu'à masse constante ($\Delta M < 0,1\%$ en 24 heures).

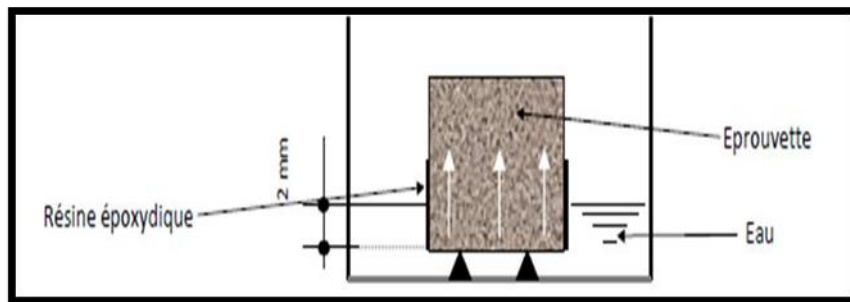


Fig.III. 21. Essai d'absorption par capillarité

L'échantillon est ensuite placé sur deux appuis collés sur le fond d'un bac rempli d'eau jusqu'à une hauteur de 2 ± 1 mm à partir de la base de l'éprouvette (figure III.21).

La hauteur d'imbibition est mesurée à l'aide d'un pied à coulisse. La figure III.22 illustre cette caractéristique.

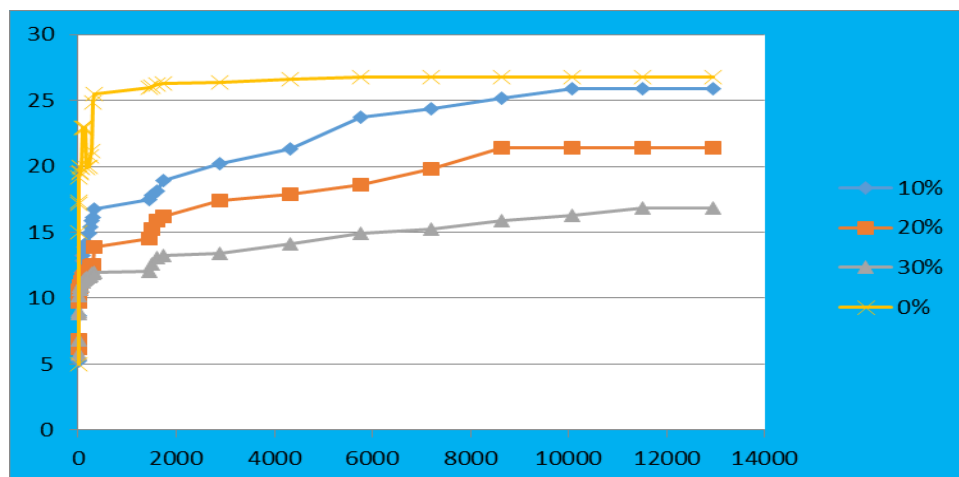


Fig.III. 22. Evolution de l'absorption capillaire en fonction de t.

On constate deux temps dans cette courbe avant cinq heures et après cette période. Dans les premières heures la pente est due aux fissures créées par le retrait ainsi que la topologie des micropores. Cet essai confirme l'essai avant lui sur l'absorption totale. Les pores sont devenus de plus en plus étroits avec l'augmentation du remplacement Gravier.

CONCLUSION

Conclusion générale

Le béton est le deuxième matériau utilisé par l'être humain après l'eau. Depuis sa découverte il ne cesse pas de se développer. Passant par le béton ordinaire, des dizaines de types sont connues aujourd'hui.

La fraction cimentaire dans le béton assure la cohésion de la fraction granulaire. Cette dernière qui assure la dureté est souvent d'origine naturelle.

Les produits argileux sont de plus en plus exploités. Les céramiques et ces dérivés sont des matériaux ornementaux exploités et très appréciés dans les travaux de finition dans le domaine du bâtiment.

Mais ces derniers matériaux et surtout les céramiques sanitaires sont objet de différente manipulation non délicate. Que ce soit à l'usine dans leurs transports ou dans la pose un nombre considérable est stockés sans avenir ou perspective à leur valorisation.

Pour faire face à ces deux problèmes environnementaux, nous avons substitués une partie la fraction graveleuse d'un béton ordinaire par du gravier concassé d'origine sanitaire. Nous avons constaté les points suivants :

* La masse volumique absolue du gravier de déchets céramiques est plus petite que la masse volumique du gravier naturel, ce qui veut dire plus de légèreté des bétons à granulats céramiques.

*Suite à des surfaces de glaçure importante sur les graviers céramique, l'affaissement du béton augmente avec l'augmentation du pourcentage du substituant.

*La masse volumique plus légère des graviers céramiques imprime sur la masse volumique des bétons étudiés.

*L'absorption d'eau élevée des graviers céramiques réduit l'hydratation du ciment, ce qui engendre une réduction de la résistance à la compression.

*Avec l'augmentation de la substitution, les bétons à gravier céramique enregistrent un faible taux d'absorption, ceci est peut-être dû à des pores capillaires plus serrés.

Cette démarche nous a incité à réfléchir d'étudier le comportement de ces bétons dans des milieux agressives.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Domone, P.L.J. (2002). Concrete. Illeston J.M., Domone P.L.J., (Eds) *Construction materials : Their nature and behaviour* (3^{ème}ed.), (PP121-127). London : Taylor and Francis
- [2] Collection technique Cimbéton. (2005). Les constituants des bétons et des mortiers.
- [3] BARON J. et SAUTREY R., 1982. « Le béton hydraulique », Presse de l'école nationale des ponts et chaussées, Paris, 560 p.,
- [4] MAILLOT R., , 2001. « Mémento technique des Granulats », les Presses de l'Ecole des Mines, Paris, 166 p.
- [5] Collection technique Cimbéton. (2005). Les constituants des bétons et des mortiers.
- [6] RACHI LEILA et DENDANI MOHAMED AMINE ; 2016 « thèse INFLUENCE DES DIFFERENTES GRANULOMETRIES DES AGREGATS SUR LE COMPORTEMENT MECANIQUE DU BETON ORDINAIRE. ».
- [7] Presse de l'école national des ponts et chaussées LCPC , 1998: «Le béton hydraulique, connaissances et pratique» P409.
- [8] Baron, Jaques et Ramond Sauterey, Paris 1995: « le béton hydraulique : Connaissances et pratique»,.
- [9] Zarauskas, L., Skripiūnas, G., & Girskas, G. (2017). Influence of aggregate granulometry on air content in concrete mixture and freezing-thawing resistance of concrete. *Procedia Engineering*, 172, 1278-1285.
- [10] Brozovsky, J. (2014). High-strength concrete–NDT with rebound hammer: influence of aggregate on test results. *Non destructive Testing and Evaluation*, 29(3), 255-268.
- [11] Huang, Y., Ding, Y., Xie, T., & Fei, D. (2021). Effect of coarse-aggregate shape on strength of hydraulic concrete. *Structural Concrete*, 22, E710-E719.
- [12] Yang, L., Liu, G., Gao, D., & Zhang, C. (2021). Experimental study on water absorption of unsaturated concrete: w/c ratio, coarse aggregate and saturation degree. *Construction and Building Materials*, 272, 121945
- [13] Ph. PICHAT, La gestion des déchets, Édition Flammarion (Paris), 1995.
- [14] FERHI M, 2013. Le recyclage des déchets en Algérie
- [15] LUCIEN Y et al, 1994. Déchets urbains (Nature et caractéristique) Presses Polytechnique et Universitaire Romandes, Lausanne (CH). P 1
- [16] G. BERTOLINI, montre-moi tes déchets, Édition l'Harmattan, 2011, P 11.
- [17] MOLETTA R, 2009 : le traitement des déchets, Editions TEC&DOC. P 685.
- [18] JORADP N°66, du 16 décembre 1984 ; Décret n° 84 – 378 du 15 décembre 1984 fixant les conditions de nettoyage ,d'enlèvement et du traitement des déchets solides Urbains. P15.
- [19] JORADP N°62, 11 Septembre 2005 ; Décret exécutif n° 05-314 du 10 septembre 2005 fixant les modalités d'agrément des groupements de générateurs et/ou détenteurs de déchets spéciaux. P 4, P 5.
- [20] N. LOUAI, « Evaluation Energétique des déchets solides en Algérie, une solution climatique et un nouveau vecteur énergétique », mémoire de magistère, 2009
- [21] Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement et du Tourisme, 2008 ; Conservatoire National des Formations à l'Environnement Formation sur la gestion des déchets solides. P 9-11.
- [22] O. REDJAL, « Phénomène de prolifération des déchets urbains et stratégie de préservation de l'écosystème - Exemple de Constantine », mémoire de magistère, 2005.
- [23] JORADP N°43, du 20 Juillet 2003 ; Loi N°03-10 du 19 Juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable. P 6.
- [24] MANUEL d'information sur la gestion et l'élimination des déchets solides Urbains résumé les déchets solides urbains P 48-49,63.
- [25] BERTHOLON J, 2002 ; Les déchets solides et l'incinération des ordures ménagères, Mémoire de fin de cycle Université de Cergy-Pontoise. P 20

BIBLIOGRAPHIE

- [26] Yang, H. M., Kwon, S. J., Myung, N. V., Singh, J. K., Lee, H. S., & Mandal, S. (2020). Evaluation of strength development in concrete with ground granulated blast furnaceslag using apparent activation energy. *Materials*, 13(2), 442.
- [27] Yun, C. M., Rahman, M. R., Phing, C. Y. W., Chie, A. W. M., & Bakri, M. K. B. (2020). The curing times effect on the strength of ground granulated blast furnaceslag (GGBFS) mortar. *Construction and Building Materials*, 260, 120622
- [28] Bourmatte Nadjoua, «Granulats recyclés de substitution pour bétons hydrauliques». Thèse de doctorat, Université des frères Mentouri Constantine 12 Mars 2017.
- [29] Antoun, M. (2019). *Vers une meilleure compatibilité ciment/mâchefer (MIDND) dans la formulation de matériaux cimentaires intégrant un ciment sulfo-alumineux* (Doctoral dissertation, Ecole nationale supérieure Mines-Télécom Lille Douai; Université de Balamand (Tripoli, Liban)).
- [30] Tamanna, N., & Tuladhar, R. (2020). Sustainable use of recycled glass powder as cement replacement in concrete. *The Open Waste Management Journal*, 13(1).
- [31] Garrick, G.M. "Analysis and Testing of waste tire fiber :modified concrete ", M.sc. Thesis, University of Louisiana state , U.S.A , Louisiana ,2005.
- [32] Almeida, D. H. D., Grillo, R. H. F., Maestrelli, S. C., & Roveri, C. D. (2019). Properties of concrete manufactured with use of ceramic sanitary ware waste as aggregate. *Matériau (Rio de Janeiro)*, 24.
- [33] Peter, D. M., Awing, A. Z., Sam, A. R. M., Ma, C. K., & Loo, P. (2020, May). Eco-efficient concrete containing recycled ceramic wastes aggregate. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 849, No. 1, p. 012035). IOP Publishing.
- [34] Yasin Mousavi, S., Tavakkoli, A., Jahanshahi, M., & Dankoub, A. (2020). Performance of High-strength Concrete Made with Recycled Ceramic Aggregates (Research Note). *International Journal of Engineering*, 33(6), 1085-1093.
- [35] Amin, M., Tayeh, B. A., & Agwa, I. S. (2020). Effect of using mineral admixtures and ceramic wastes as coarse aggregates on properties of ultrahigh-performance concrete. *Journal of Cleaner Production*, 273, 123073.