

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° :



FILIERE : Génie civil

OPTION : MATERIAUX

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master

*L'effet d'un sable à base de déchets céramique
sur les caractéristiques d'un béton ordinaire*

Par:

BARKAT Halima

AMMARI Ibtissam

Soutenu devant le jury composé de:

Pr BIBI MEKKI

Université M'sila .

Président

Dr CHIKOUCHE M^{ed} AZIZ

Université M'sila .

Encadreur

Dr BAALI Laid

Université M'sila .

Co-Encadreur

AMRIOU ABDERRACHID

Université M'sila .

Examineur

Année universitaire : 2021 / 2022

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions Dieu, le tout puissant, de nous avoir donné la volonté et le courage afin d'arriver à la finalité de ce modeste travail.

Nous tenons également à exprimer nos sincères remerciements à notre encadreur ,

Mr «Mohamed aziz chikouche »

*et notre Co-Encadreur **Mr « Baali Laid»***

pour avoir proposé ce thème, et lui exprime notre gratitude, pour la disponibilité et la patience dont il a fait preuve et dont les précieux conseils et les remarques pertinentes et pour son suivi continué tout le long de la réalisation de ce mémoire dans les meilleures conditions.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements au :

***Dr , Saudi Fatiha** pour nous avoir reçus dans son bureau, **Dr, Wahiba**, le responsable du laboratoire, pour son aide et ses conseils et aussi nous remercions notre collègue **AZZOUT ZAKARIA** pour son aide .*

Enfin , Nous exprimons notre profonde gratitude à nos parents, frères, sœurs et à toute la famille pour leurs encouragements et leurs prières, à nos amis et à nos enseignants et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la fin et au développement de ce travail .



Merci à tous

DEDICACE

*À ceux qui se sont toujours dévoués et sacrifiés pour moi
ceux qui m'ont encouragée soutenu à combattre les aléas de la vie et
donner le meilleur de moi*

*À celle qui m'a entouré de sa tendresse, Et à qui m'a donné le désir de
vivre , Et qui était oui le lien,*

À mes parents, à mes sœurs , mes frères, À toute ma famille

*À la personne qui me donnait la force de continuer mon travail
, mon cher neveu Ghaith . À mon encadreur et mes professeurs*

À mes collègues de génie matériaux et mes anciens collègues

*À mes professeurs à la licence de l'université Zian Ashour, spécialement
Mr BADAOUI Mohamed, KOUZOU Abdellah et DJENIDI Abderrazak
, un merci spécial à vous car vous êtes la raison de mon arrivée ici*

*À mes amis Taima , Lamis, Iman, AMMARI Ibtissam et à tous ceux que
j'aime et qui m'aiment Je finis par remercier toute personne qui m'a
aidé et soutenue,*

de près ou de loin pour que ce modeste mémoire aboutisse.

BARKAT Halima

DEDICACE

*Je remercie tous ceux qui ont été la cause de mon succès, ceux qui
m'ont soutenu, tous ceux*

*Mes parents et ' qui ont cru en moi, m'ont motivé et m'ont poussé
vers l'avant, ma famille mes sœurs*

*À mes professeurs du Département de génie civil qui se sont
efforcés de m'aider en tout temps et qui ont contribué au
raffinement de mes connaissances tout au long de mes années
d'études, merci,*

*À amis Iman.B ,Soumia,Iman.L et BARKAT Halima
et un merci spécial qui vient du cœur à Dieu qui a été témoin de
ma fatigue et a renforcé mes pas et a eu avec moi le meilleur
compagnon*

AMMARI Ibtissam

SOMMAIRE

Titre	Page
Remerciements.....	
Dédicaces	
Sommaire.....	
Listes des figures.....	IX
Liste des tableaux.....	XI
ملخص	XII
Résumé	XIII
Abstract	XIV
INRODUCTION.....	2
CHAPITRE I- Les granulats dans le béton	
I.1.Introduction	5
I.2. Définition du granulats	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.....	11
I-5-5- Stockage et livraison.....	11
I-6-Les caractéristiques de granulats.....	12
I-6-1-Caractéristiques géométriques.....	12
I-6-1-1-Granulométrie.....	12
I-6-1-2-Module de finesse.....	12
I-6-1-3-Coefficient d'aplatissement	13
I-6-2-Caractéristiques physicochimiques.....	14
I-6-2-1-La masse volumique.....	14
I-6-2-2-Porosité et compacité.....	14
I-6-2-3-L'absorption.....	15
I-6-2-4-Teneur en eau.....	15
I-6-2-5-Foisonnement.....	15
I-6-3-Caractéristiques mécaniques.....	16

I-6-3-1-Résistance à l'usure et aux chocs.....	16
I-7-Influence des caractéristiques de granulats.....	17

CHAPITRE II- Valorisation des granulats recyclés dans les bétons

II-1-Les déchets.....	22
II-1-1-Définition.....	22
II-1-1-1-Approche juridique.....	22
II-1-1-2-Approche économique.....	22
II-1-1-3-Approche sociologique.....	22
II-1-2- Les différent types des déchets.....	22
II-1-2-1-Classification en fonction de l'origine des déchets.....	22
II-1-2-2-Classification en fonction des sources des déchets	23
a) Les ordures ménagères.....	23
b) Les déchets industriels.....	23
c) Les déchets industriels inertes.....	24
d) Les déchets d'activité de soins.....	24
II-1-3- La gestion des déchets.....	24
II-1-3-1- La collecte.....	25
II-1-3-2- Le recyclage.....	25
II-1-3-3- L'élimination.....	26
a) L'incinération.....	26
b) la mise en décharge.....	27
II-2- Les déchets dans le génie civil.....	27
II-2-1-Le laitier de haut fourneau.....	27
II-2-1-1-Le laitier cristallisé.....	28
II-2-1-2-Le laitier vitrifié.....	28
II-2-1-3-Le laitier bouleté.....	29
II-2-2-Mâchefer.....	30
II-2-3-Le verre.....	32
II-2-4-Les déchets de pneu usagé.....	32
II-2-5-Les déchets céramiques.....	33

CHAPITRE III- Essais et résultats

III-1-Introduction.....	37
III-2-Les matériaux utilisés.....	37
III-3- Caractérisation des matériaux utilisés.....	38
III-3-1-Les sables.....	38
III-3-1-1-La masse volumique, porosité et indices des vides.....	38
III-3-1-2-Equivalent de sable.....	41
III-3-1-3-La teneur en eau.....	42
III-3-1-4-Analyse granulométrique.....	43
III-3-2-Le gravier.....	44
III-3-2-1- La masse volumique absolue.....	44
III-3-2-2-La masse volumique apparente.....	45
III-3-2-3-Porosité, Compacité et Indice des vides des graviers.....	45
III-3-2-4-Analyse granulométrique.....	45
III-3-3- Caractéristiques du ciment utilisé.....	46
III-3-4- Eau de gâchage.....	47
III-4-Formulation du béton.....	47
III-4-1-Malaxage des bétons.....	48
III-4-2-Confection Des Éprouvettes.....	48
III-4-3-Moulage et démoulage.....	48

III-5-Essai Sur béton frais.....	49
III-5-1-Affaissement au cône d'Abrams.....	49
III-6-Essais sur béton durci.....	50
III-6-1-La masse volumique.....	50
III-6-2-Résistance à la compression.....	51
III-6-3- Essai au scléromètre.....	52
III-6-4-Retrait.....	53
III-6-5- Essai d'absorption par immersion.....	54
III-6-6- l'absorption capillaire.....	55
CONCLUSION GENERALE	58
BIBLIOGRAPHIE	60

Liste Des Figure

Titre	Page
CHAPITRE I- Les granulats dans le béton	
Figure I-1- Les familles de granulats	5
Figure I-2- Les différents types de granulats.....	6
Figure I-3 Transfert des roches.....	8
Figure-I-4- Opération de concassage.....	9
Figure-I-5- Concasseurs à mâchoires.....	9
Figure-I-6- Concasseurs à percussion.....	9
Figure-I-7- Concasseurs giratoires.....	10
Figure-I-8- Concasseur à cylindre.....	10
Figure-I-9- Cribleur rotatif.....	11
Figure-I-10- Cribleur vibrant.....	11
Figure I-11- Opération de lavage.....	11
Figure I-12 Stockage à l'air libre.....	12
Figure I-13 Silo pour stockage.....	12
Figure-I-14- Tamis d'analyse granulométrique.	12
Figure-I-15- Fuseau des sables admissibles.....	13
Figure-I-16- Forme d'un granulat.....	14
Figure-I-17- Volume hachuré = Volume absolu.....	14
Figure-I-18- Porosité et compacité.....	15
Figure-I-19- Foisonnement des différents sables en fonction de l'humidité.....	16
Figure-I-20- Appareil Micro Deval	16
Figure-I-21- L'absorption en fonction des granulats grossier et concassé.....	17
Figure-I-22- La porosité en fonction des granulats grossier et concassé	17
Figure-I-23- Effet de la courbe granulométrique sur les résistances à la compression	18
Figure-I-24- Rupture des éprouvettes, Agrégat traversé directement, granulats intacts	19
Figure-I-25- Absorption d'eau cumulée du béton avec différentes fractions volumiques d'agrégats.....	20
Figure-I-26- Effet de « Va » sur la tortuosité des canaux de transport.....	20
CHAPITRE II- Valorisation des granulats recyclés dans les bétons	
Figure-II-1- Pyramide de valorisation selon les trois « R ».....	25
Figure-II-2- Collecte des déchets.....	26
Figure-II-3- L'incinération des déchets.....	27
Figure-II-4- Schéma de principe d'un haut fourneau.....	28
Figure-II-5- Le laitier cristallisé.....	28
Figure-II-6- Le laitier granulé.....	29
Figure-II-7- Le laitier bouleté.....	29
Figure-II-8- . Temps de prise, selon la température de durcissement et le taux de remplacement du laitier.....	29
Figure-II-9- Le mâchefer.....	31
Figure-II-10- Flux de chaleur pour les mélanges CEMI	31
Figure-II-11- Flux de chaleur pour les mélanges CSA.....	31
Figure-II-12- Les résistances à la compression des bétons à RGP.....	32
Figure-II-13- Pourcentage de vides dans le béton FBA.....	33
Figure-II-14- Profondeurs de pénétration des chlorures dans les mélanges de béton	34
Figure-II-15- Ressuage des différents béton.....	35

CHAPITRE III- Essais et résultats

Figure-III-1- La masse volumique absolue du sable.....	38
Figure-III-2- Détermination de la masse volumique apparente.....	39
Figure-III-3- Agitateur pour équivalent de sable.....	42
Figure-III-4. Analyse granulométrique par tamisage.....	43
Figure-III-5- Sac du ciment utilisé.....	46
Figure-III-6- La courbe de référence selon la méthode Dreux-Gorisse.....	47
Figure-III-7- Malaxage du béton ordinaire.....	48
Figure-III-8- Confection des bétons étudié.....	48
Figure-III-9- Etiquetage des différents bétons.....	49
Figure-III-10- Affaissement des différents bétons.....	49
Figure-III-11- La masse volumique des bétons élaborés.....	51
Figure-III-12- Machine d'essai de résistance à la compression.....	51
Figure-III-13- Résistance à la compression des différents bétons [Mpa].....	52
Figure-III-14- Essai au scléromètre.....	52
Figure-III-15- Essai sclérométrique.....	53
Figure-III-16- Appareil de retrait.....	53
Figure-III-17- Appareil de retrait.	54
Figure-III-18- Absorption totale des bétons étudiés.....	55
Figure-III-19- Essai d'absorption par capillarité.....	55
Figure-III-20- Evolution de l'absorption capillaire en fonction de \sqrt{t}	56

LISTE DES TABLEAUX

Titre	Page
CHAPITRE I- Les granulats dans le béton	
Tableau I-1- Coefficient Los Angeles de quelques roches utilisées.....	17
Tableau I-2- Résultat des résistances avec deux types de granulats.....	18
CHAPITRE II- Valorisation des granulats recyclés dans les bétons	
Tableau II-1- Le temps de prise des différents mortiers	30
Tableau II-2- Caractéristique des mortiers exposés	35
CHAPITRE III- Essais et résultats	
Tableau-III-1- les différents matériaux utilisés pour la confections des bétons	37
Tableau-III-2- Masse volumique absolue du sable de dune.....	38
Tableau-III-3- 3 Masse volumique absolue du sable de céramique.....	38
Tableau-III-4- Masse volumique apparente du sable de dune à l'état lâche.....	39
Tableau-III-5- Masse volumique apparente du sable de céramique à l'état lâche	39
Tableau-III-6- Masse volumique apparente du sable de Boussaâda à l'état compact..	39
Tableau-III-7- Masse volumique apparente du sable de céramique à l'état compact..	39
Tableau-III-8- Porosité, compacité et indice des vides pour le sable de dune.....	41
Tableau-III-9- Porosité, compacité et indice des vides pour le sable céramique.....	41
Tableau-III-10- Equivalent de sable pour sable de dune.....	42
Tableau-III-11- Equivalent de sable pour sable céramique visuel et piston.....	42
Tableau-III-12- Teneur en eau du sable de dune.....	42
Tableau-III-13- Teneur en eau du sable céramique.....	42
Tableau-III-14- Analyse granulométrique du sable de dune.....	44
Tableau-III-15- Analyse granulométrique du sable céramique.....	44
Tableau-III-16- La masse volumique absolue des graviers.....	44
Tableau-III-17- La masse volumique apparente des différents granulats.....	45
Tableau-III-18- La porosité, compacité et indices des vides des graviers.....	45
Tableau-III-19- L'analyse granulométrique du gravier 3/8.....	45
Tableau-III-20- L'analyse granulométrique du gravier 8/16.....	46
Tableau-III-21- L'analyse granulométrique du gravier 16/25.....	46
Tableau-III-22- Quelque élément chimique du ciment utilisé	46
Tableau-III-23- L Formulation du béton pour 1m ³	47

ملخص

الخرسانة هي المادة المفضلة في البناء. يتم استخراج مكوناتها الأساسية أو المواد الخام من المحاجر. الإسمنت أصله صلصال جير والهيكال الحبيبي أصله كثنان رملية أو جرانيت. ينتج عن هذا الاستغلال على نطاق واسع أضرار كارثية على البيئة، لأنه يقلل بشكل كبير من مواردنا غير المتجددة.

من ناحية أخرى ، يمكن أن يكون تراكم النفايات بجميع أنواعها مشكلة كبيرة على المدى الطويل. من بينها النفايات الخاملة وهي الأصعب. من بين هذه النفايات، الخزف الصحي. هذا النوع يتميز بهشاشته، فهي قابلة للكسر أثناء تصنيعها، نقلها أو تركيبها في الورشة.

يتمثل حل هاتين المشكلتين البيئيتين في تحويل نفايات الخزف الصحي إلى رمل من أجل تثمينها في الخرسانة.

يهدف هذا العمل إلى دراسة تأثير تقليل كمية رمل الكثنان الرملية المستخدمة في إنتاج الخرسانة العادية بواسطة رمل مطحون من أصل خزفي.

الكلمات المفتاحية: خرسانة - رمل - كثنان - مطحون - خزف صحي

Résumé

Le béton est le matériau de choix dans le domaine du bâtiment. Ces constituants ou ces matières premières, sont extraites des carrières. Le ciment est d'origine argilo-calcaire et le squelette granulaire est dunaire ou granitique. Cette exploitation à grande échelle se traduit par une atteinte désastreuse à l'environnement, car elle réduit considérablement nos ressources non-renouvelables.

D'un autre côté, les déchets de tous genre peuvent être très encombrants à long terme. Les déchets inertes, sont les plus résistants. Parmi ces déchets, les déchets de céramiques sanitaires. Caractérisés par leurs fragilités, ils sont brisés ou cassés lors de la fabrication, le transport ou la pose sur chantier.

La solution à ces deux problèmes environnementaux, est la transformation des déchets de céramiques sanitaires en sable afin de les valoriser dans le béton.

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

Mots clés : Béton – sable- dunaire- concassé- céramique sanitaire.

Abstract

Concrete represents the material of choice in construction. These constituents or raw materials are extracted from quarries. The cement is of clay-limestone origin, and the granular skeleton is dune or granite. This large-scale exploitation results in a devastating damage to the environment, because it considerably reduces our non-renewable resources.

On the other hand, waste of all kinds can be very bulky in the long term. Inert waste is the toughest. Among this waste, sanitary ceramic waste. Characterized by their fragility, they are demolished or broken during manufacture, transport or installation on site.

The solution to these two environmental problems is the transformation of sanitary ceramic waste into sand to recover it in concrete.

This work aims to evaluate the effect of reducing the amount of dune sand used in the production of ordinary concrete by crushed sand of ceramic origin.

Keywords : Concrete- sand – dune – crushed- sanitary ceramic

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 produits 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 détruits 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 alarmants. Chaque année de nouveaux types et tendance voient 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 sableuse par un sable 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 différentes 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 de sable naturel par du sable concassé d'origine céramique.

*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 « Confection d'un béton ordinaire avec des déchets de céramiques sanitaires », mais la substitution dans ce dernier projet est la fraction graveleuse.



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 plusieurs inconvénients principaux : des changements dimensionnels élevés, en particulier un faible module, un fluage et un retrait élevé, 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 incorporée ; 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 présentées ci-dessous (figue I-1).

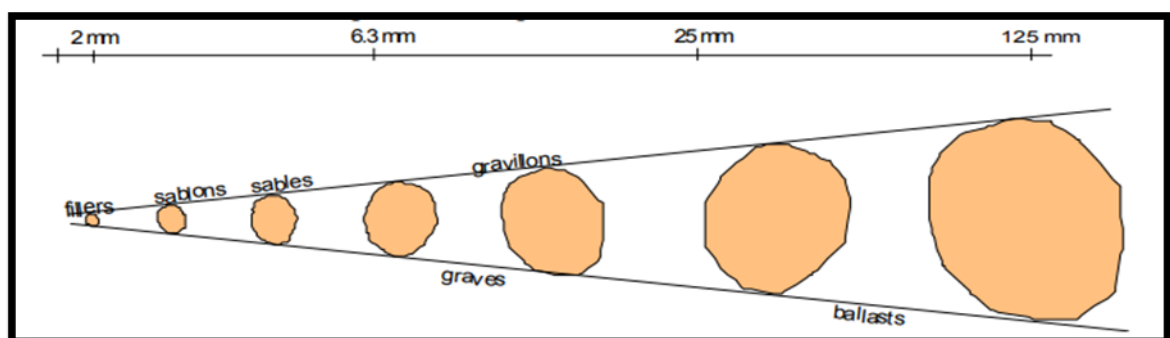


Figure.I.1. Les familles de granulats.

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 durci.

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'exécède 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 natures 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.



Figure.I.2. Les différents types de granulats.

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 ne 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-Origine 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-Origine 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 est produit 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 réutilisées.[4]

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 réutilisées 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 ferrée ou maritime.



Figure.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).



Figure.I.4.Opération de concassage.

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.

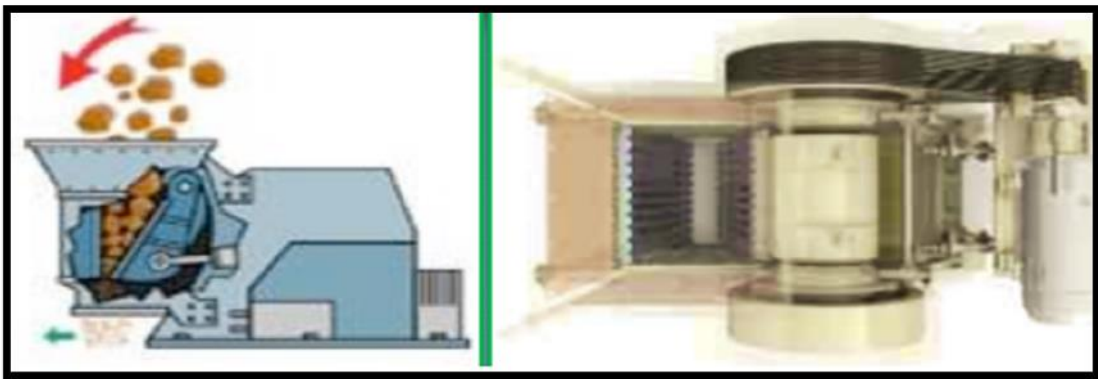


Figure.I.5. Concasseurs à mâchoires

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

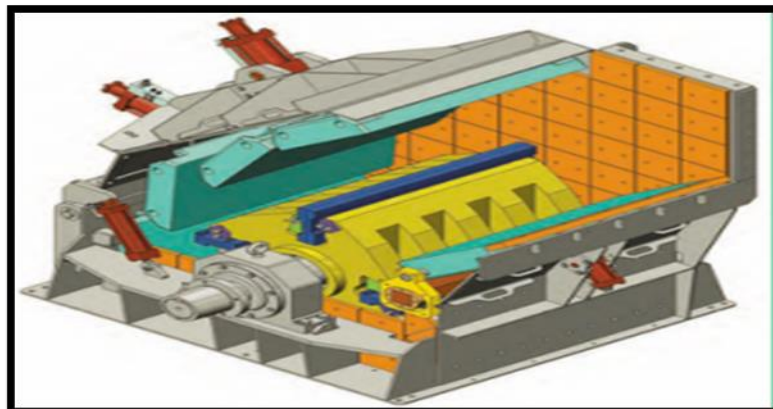


Figure.I.6.Concasseurs à percussion

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

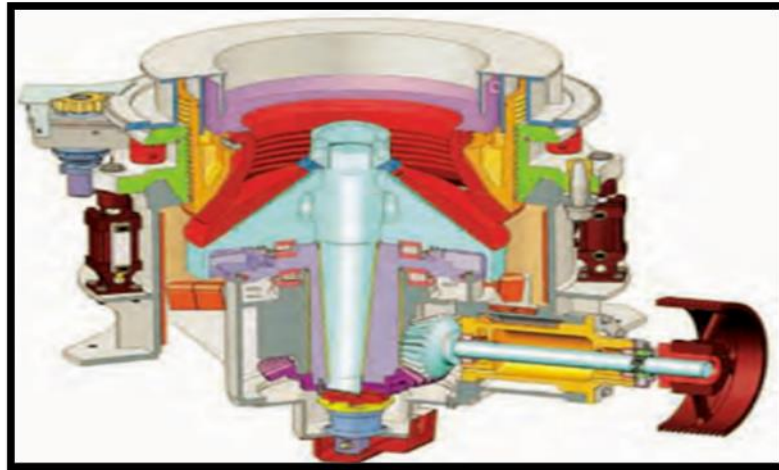


Figure.I.7. Concasseurs giratoires

• **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.

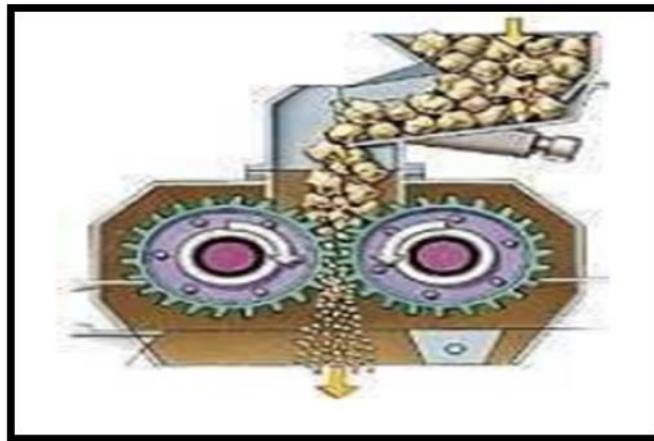


Figure.I.8. Concasseur à cylindre

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).



Figure.I.9.Cribleur rotatif.

Figure.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.

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



Figure.I.11.Opération de lavage.

I-5-5- 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.

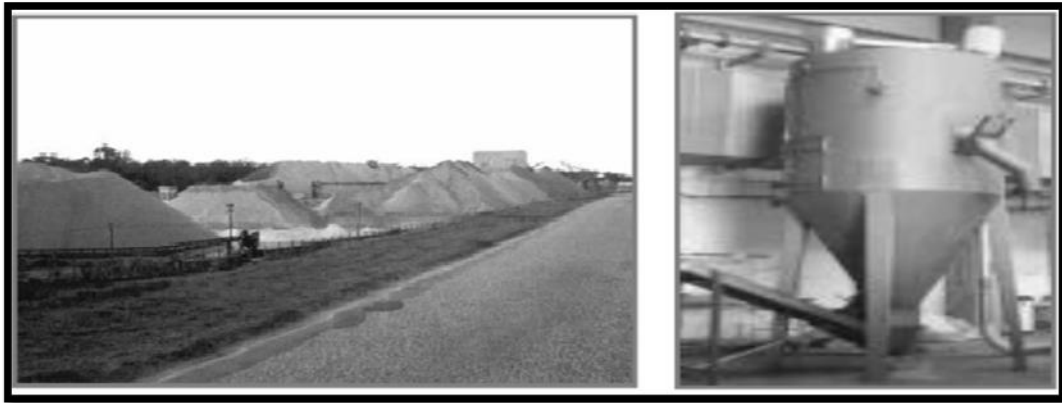


Figure.I.12. Stockage à l'air libre.

Figure.I.13.Silo pour stockage.

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).[2]

I-6-1-Caractéristiques géométriques

I-6-1-1-Granulométrie

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).



Figure.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 supérieure 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 centrale 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 ($2.8 < M_f < 3.2$) correspond à des sables à utiliser pour la recherche des résistances élevées, mais on aura en général, une moins bonne ouvrabilité et des risques de ségrégation.

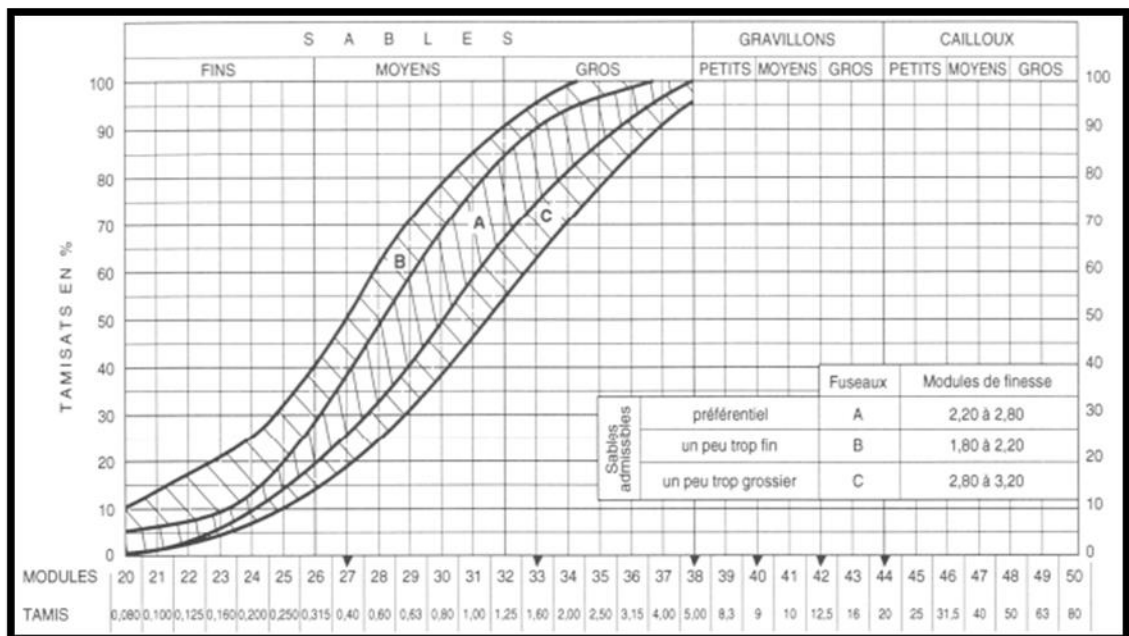


Figure.I.15. Fuseau des sables admissibles.

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 granulats 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.

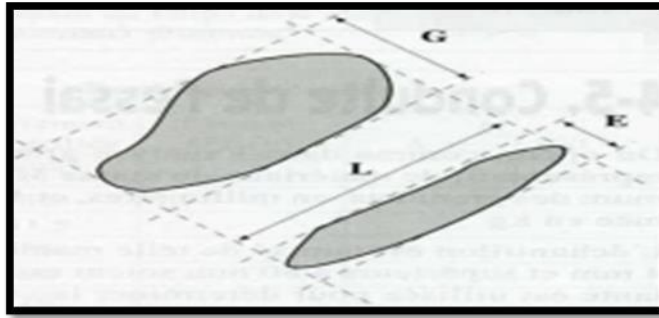


Figure.I.16. Forme d'un granulats

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 granulats, sans tenir compte des vides prouvent 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.[5]

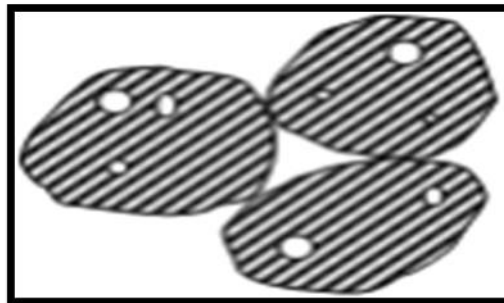


Figure.I.17. Volume hachuré = Volume absolu (sans pores)

I-6-2-2-Porosité et compacité

La porosité « P » d'un granulats est le rapport du volume des vides contenus dans les grains au volume des grains [6].

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).

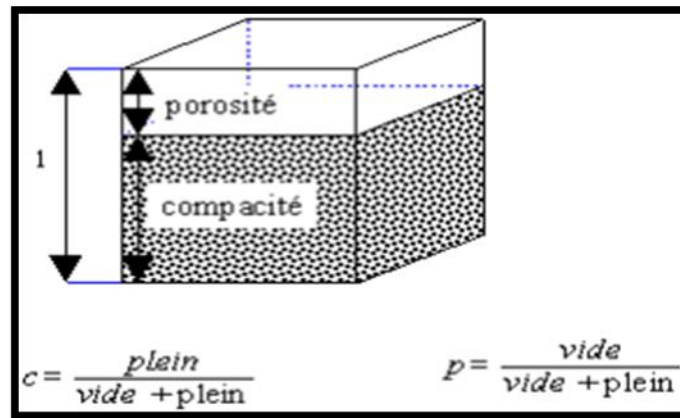


Figure.I.18. Porosité et compacité

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. [7]

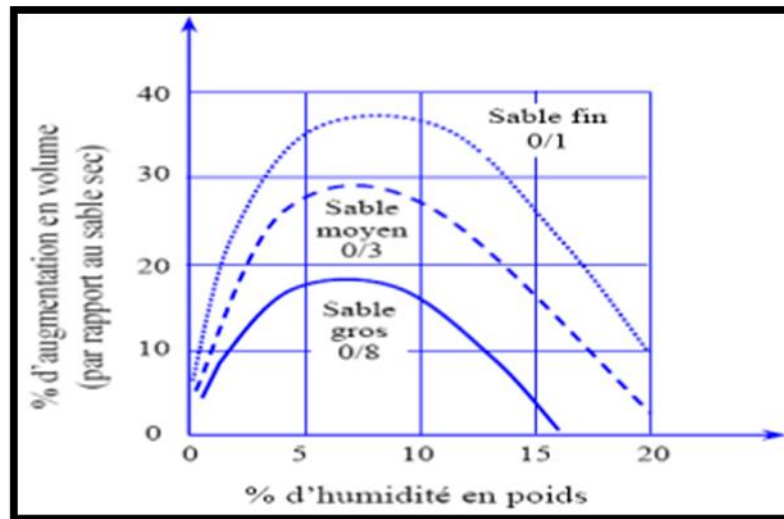


Figure.I.19. Foisonnement des différents sables en fonction de l'humidité

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.



Figure.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 ».

Tableau.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

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

Zarauskas et al.[8] 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).

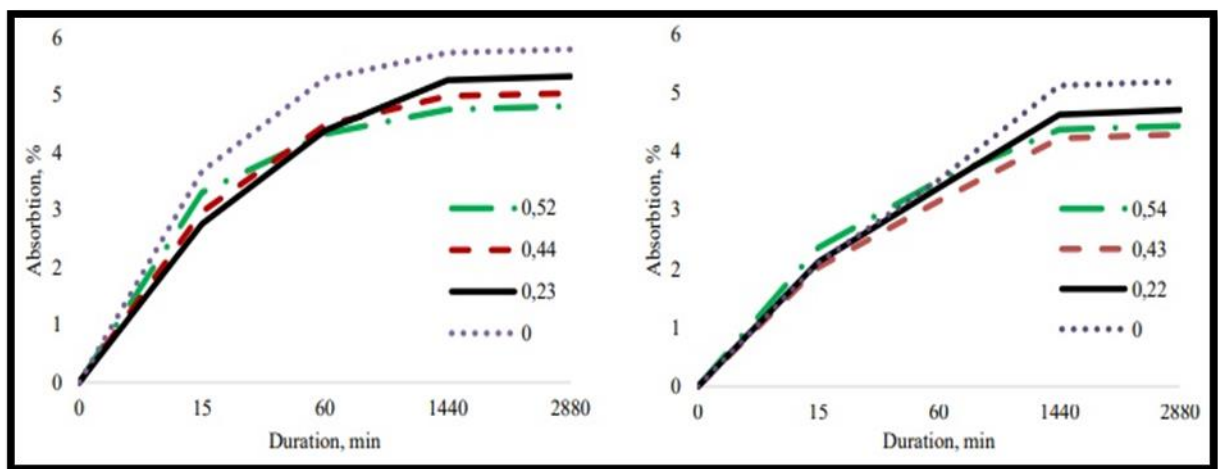


Figure I.21. L'absorption en fonction des granulats grossier à gauche et granulats concassé à droite

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).

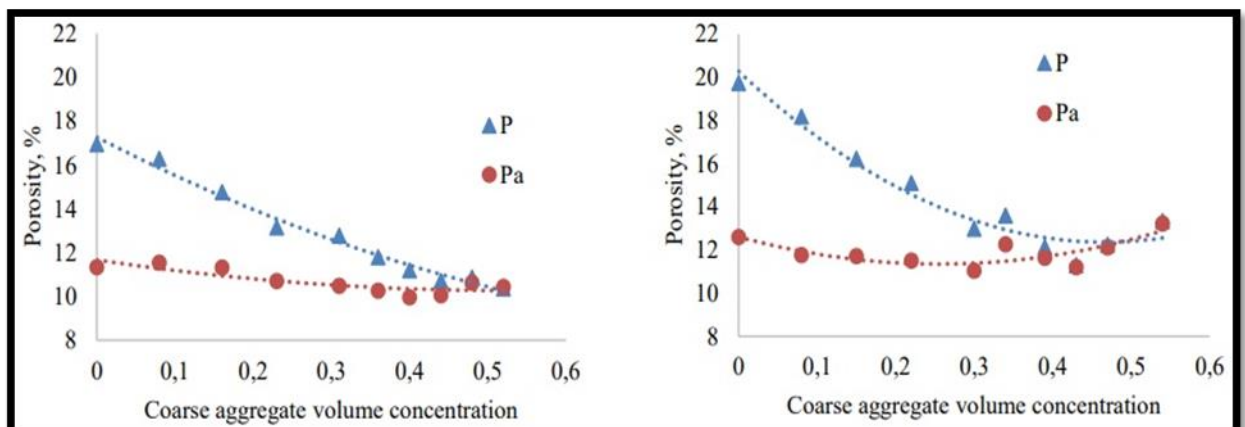


Figure I.22. La porosité en fonction des granulats grossier à gauche et concassé à droite.

Brozovsk [9] 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).

Tableau 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 lacourbe 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.

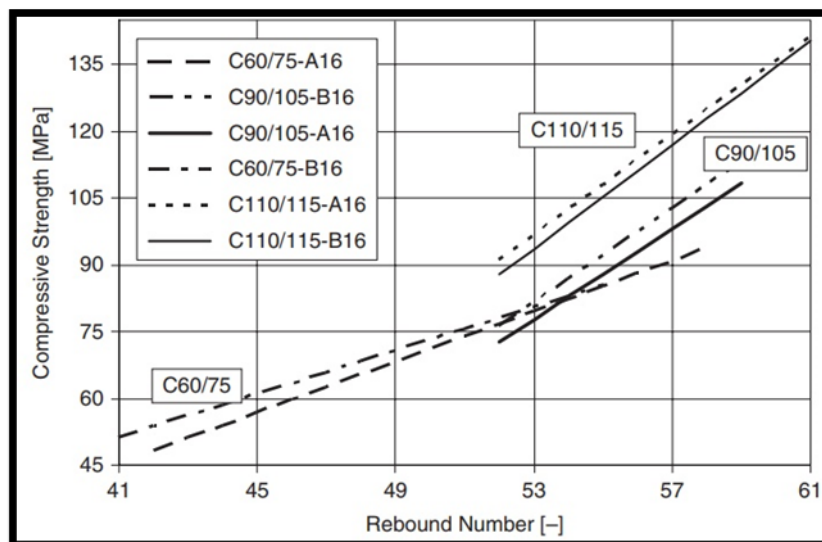


Figure I.23. Effet de la courbe granulométrique sur les résistances à la compression

La forme est une propriété physique importante des agrégats. Dans le travail de Hang et al.[10] , 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 brisefacilement, 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 I.25.a, la section traverse directement l'agrégat, alors que dans la figure I.25.b, la plupart des agrégats sur lela surface de rupture reste intacte.

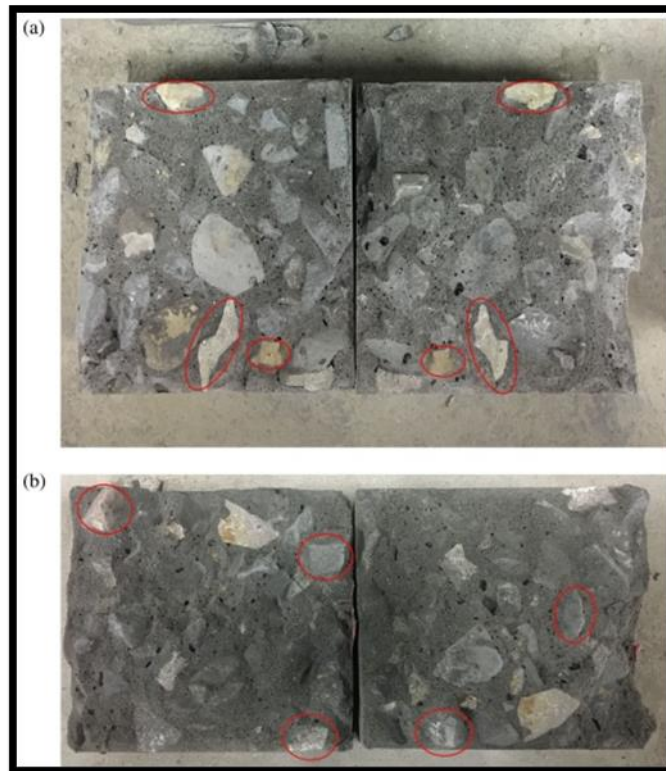


Figure I.24. Rupture des éprouvettes a) Agrégat traversé directement. b) granulats intacts

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.[11] 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.

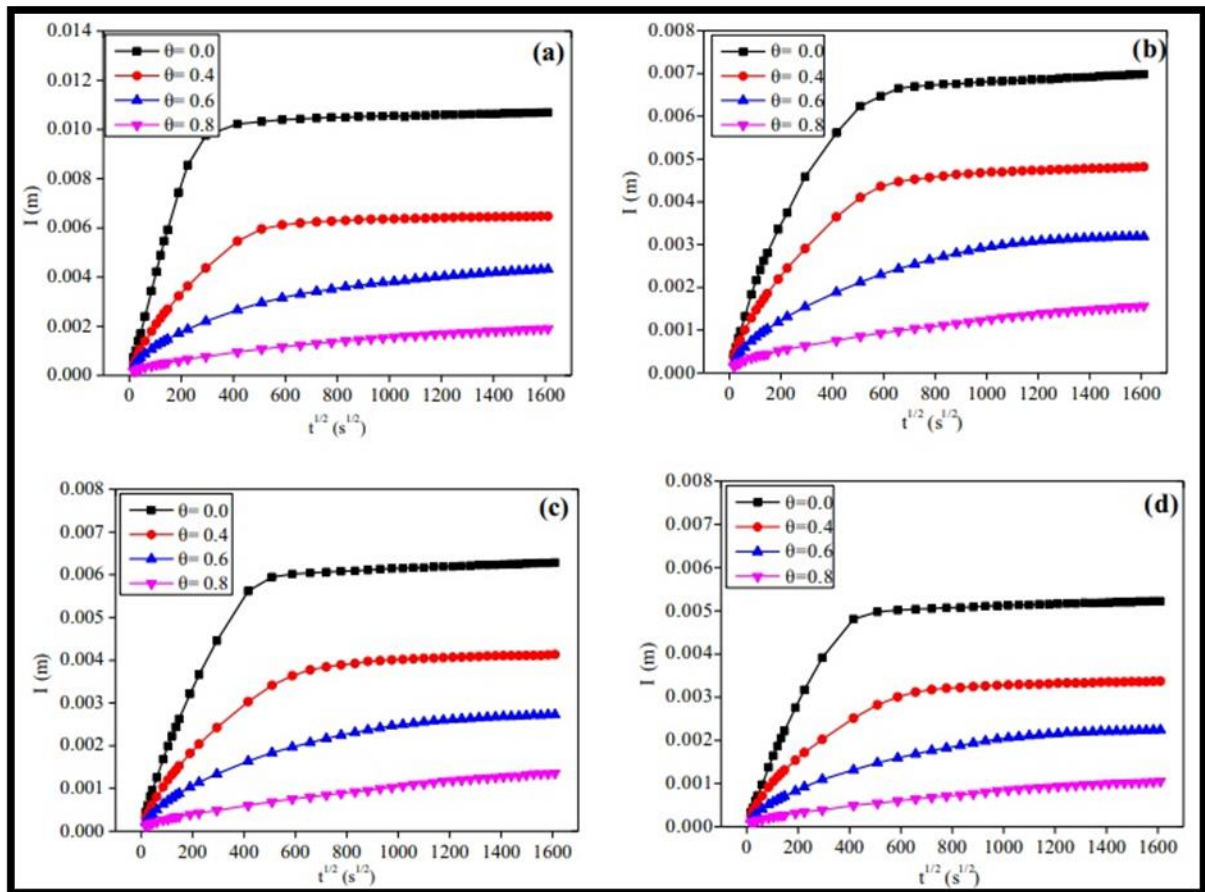


Figure I.25. Absorption d'eau cumulée du béton avec différentes fractions volumiques d'agrégats grossiers.

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.

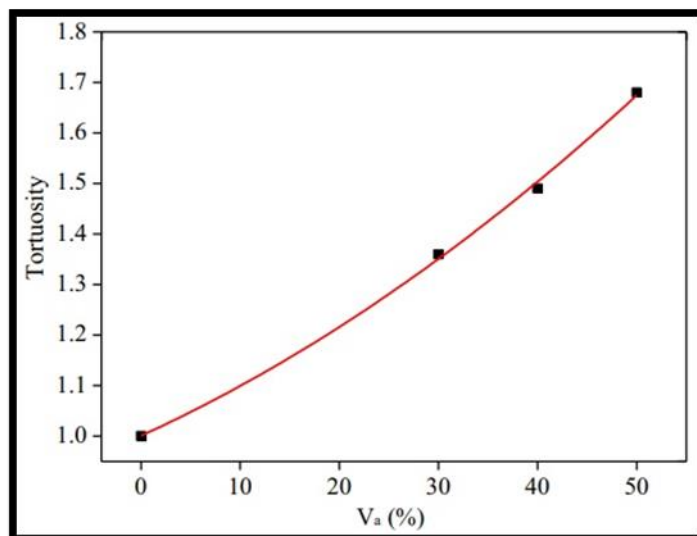


Figure I.26. Effet de « V_a » sur la tortuosité des canaux de transport.



CHAPITRE II
valorisation des granulats recyclés dans Les béton

ChapitreII: valorisation des granulats recyclés dans Les bétons

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 XIV^{ème} 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 »[12].

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.[13]

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.[14]

II-1-1-3-Approche sociologique

Le déchet est un révélateur, un marqueur, un traceur des espaces et des sociétés, il est le témoin d'une culture et de ses valeurs. Il est le reflet du niveau social des populations et de l'espace dans lequel elles évoluent : zones rurales / urbaines, habitats collectifs / individuels.[15]

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.

*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 traités 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.

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 .[20]

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.) .[19]

*** 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. [21]

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).

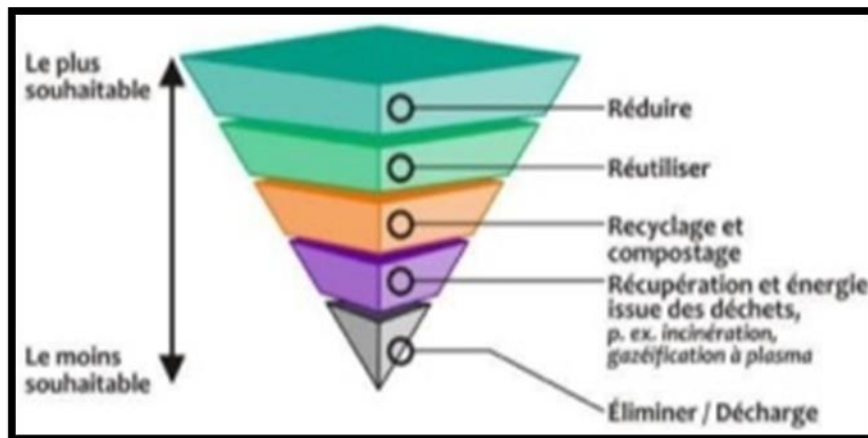


Figure. II.1. Pyramide de valorisation selon les trois « R ».

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.) .[22]

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.[23]



Figure.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,)

*Recyclage mécanique (par exemple par broyage;)

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

II-1-3-3- 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 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.[24]

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).

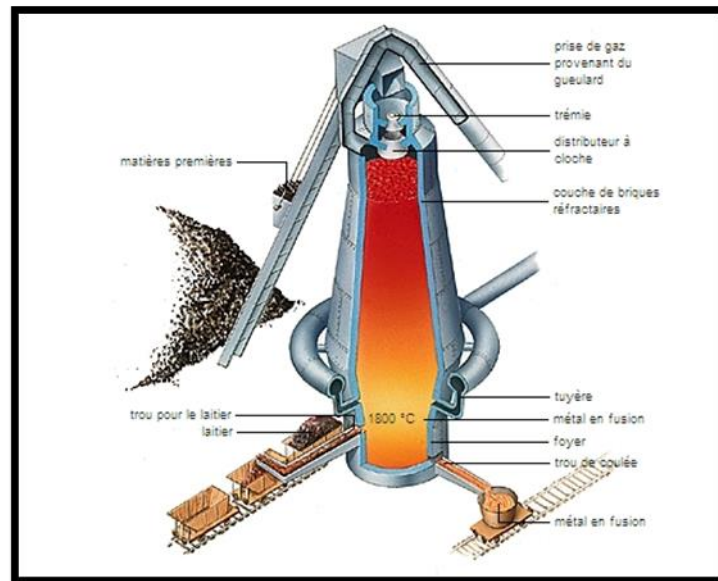


Fig.II.4. Schéma de principe d'un haut fourneau.

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 granulat. 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

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.

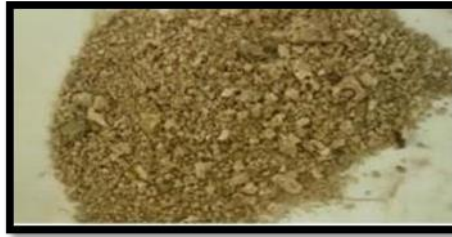


Fig. II.6. Le laitier granulé.

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.[25] 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.

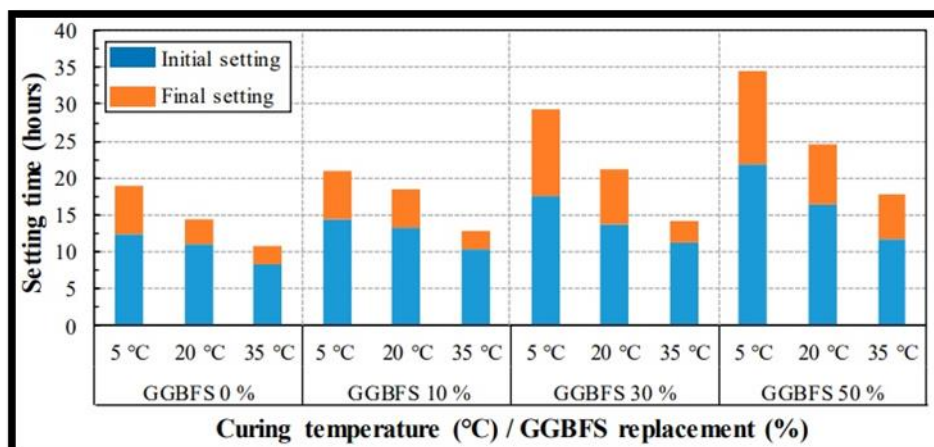


Figure II.8. Temps de prise, selon la température de durcissement et le taux de remplacement du laitier

Yun et al.[26] 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 à 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.

Tableau 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 ».[27]



Figure II.9. Le mâchefer

Antoun dans sa thèse[28] a substitué respectivement le sable normalisé de 25%, 50%, 75% et 100 % par un sables de mâchefers. 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 sables 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)

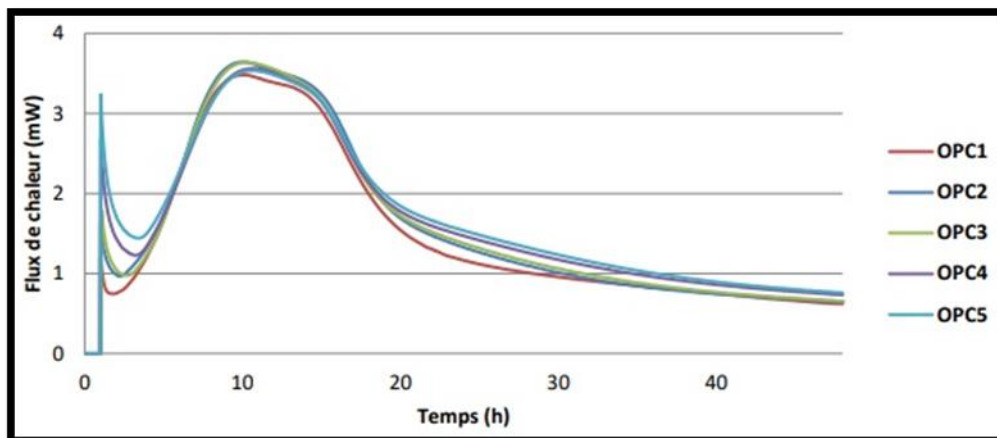


Figure II.10. Flux de chaleur pour les mélanges CEMI

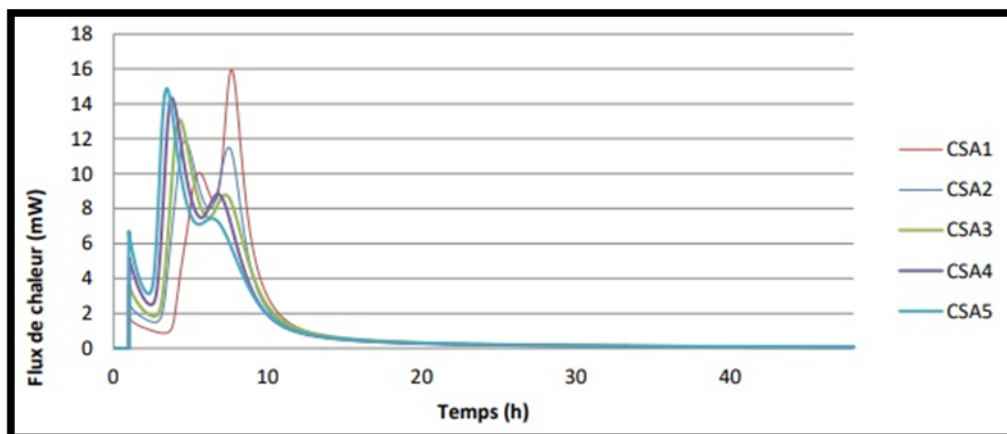


Figure II.11. Flux de chaleur pour les mélanges CSA

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 », Tamanna&Tuladhar [29] 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).

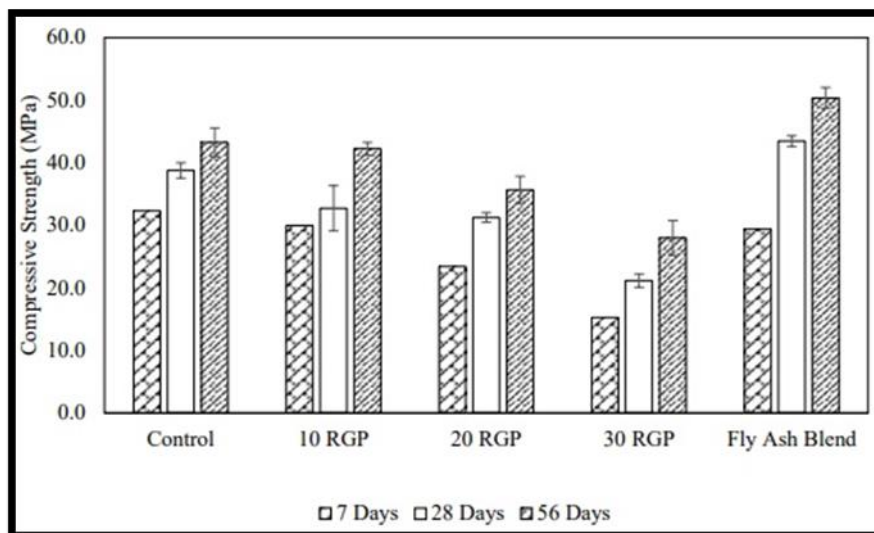


Figure II.12. Les résistances à la compression des bétons à RGP

II-2-4-Les déchets de pneu usagé :

L'augmentation de la production automobile a entraîné une augmentation significative des pneus. Ces derniers 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 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.[30]

II-2-5-Les déchets céramiques

Les déchets industriels enregistrent des constantes augmentations en raison des demandes continues d'utilisation des ressources par les humains. Ces déchets son soient incorporés au béton, ou d'autre mélange cimentaire comme granulats.

Siddique et al.[31] sont utilisés des granulats de céramique fin (FBA)à différents niveaux de remplacement (20 %, 40 %, 60 %, 80 % et 100 %). Ils ont constaté que le pourcentage de vides augmente à mesure que la teneur en FBA augmente (Figure II.13). La texture rugueuse et l'angularité du FBA entraînent une formation légèrement plus élevée de vides dans le béton. La série (E/C=0.55) présentait le pourcentage le plus élevé de vides, car L'excès d'eau présent lors du malaxage du béton se perd progressivement, formant des vides. La surface relativement rugueuse du FBA nécessite une plus grande quantité de pâte de ciment pour fournir un revêtement approprié, ce qui crée également des vides. La forme angulaire du FBA entraîne un pourcentage accru de vides dans le béton.

L'angularité et la rugosité du FBA entraînent une demande plus élevée de pâte de ciment pour couvrir la surface, laissant ainsi des vides dans le béton. Cependant, le comportement pouzzolanique du granulat céramique compense ce phénomène en contribuant à la formation de produits d'hydratation, ce qui maintient ou augmente la résistance à la compression.

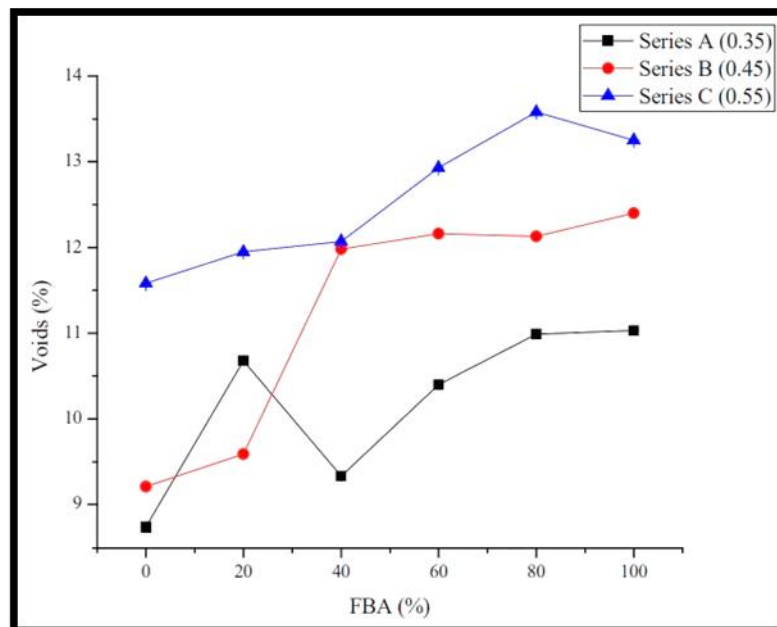


Figure II.13. Pourcentage de vides dans le béton FBA

Dans la même étude, il a été observé qu'avec l'augmentation de la teneur en FBA, à un effet positif sur la profondeur de pénétration du chlorure (figure II.14). Un tel comportement peut être attribué au gel CSH plus dense dans la microstructure.

L'activité pouzzolanique de FBA crée également un mécanisme de réaction favorable pour Al_2O_3 et SiO_2 pour former des phases supplémentaires d' AF_m et d' AF_t , qui offre une résistance contre les ions chlorure par le mécanisme d'échange d'ions et la formation du sel de Friedel.

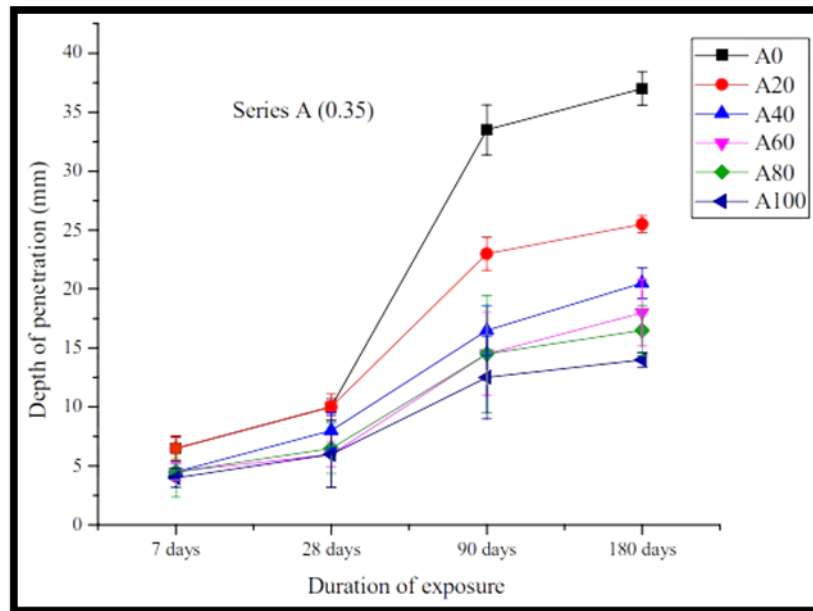


Figure II.14. Profondeurs de pénétration des chlorures dans les mélanges de béton (série A)

Après la mise en place et la bonne vibration du béton, les particules plus lourdes ont tendance à se déposer et à occuper le fond du moule, ce qui entraîne le déplacement de l'eau vers le haut. Ce phénomène de remontée d'eau vers le haut s'appelle le ressuage.

Seddique et al.[32] dans une autre étude, ont étudiés le phénomène de ressuage sous l'effet de l'incorporation ou la substitution du sable par les déchets céramiques en forme de sable. L'effet de cette substitution est représenté sur la figure II.15.

Une augmentation de la teneur des granulats céramique dans le béton a entraîné une augmentation de la perte d'eau par ressuage. L'eau interne absorbée par le déchet est progressivement relâchée dans le mélange de béton, ce qui provoque une augmentation du ressuage. De plus, les granulats d'origine céramique sont plus fins et plus légers que ceux du sable naturel. Cela conduit à la formation de laitance sur la surface supérieure du béton de céramique fraîchement mélangé, provoquant une augmentation de la quantité d'eau provenant du ressuage.

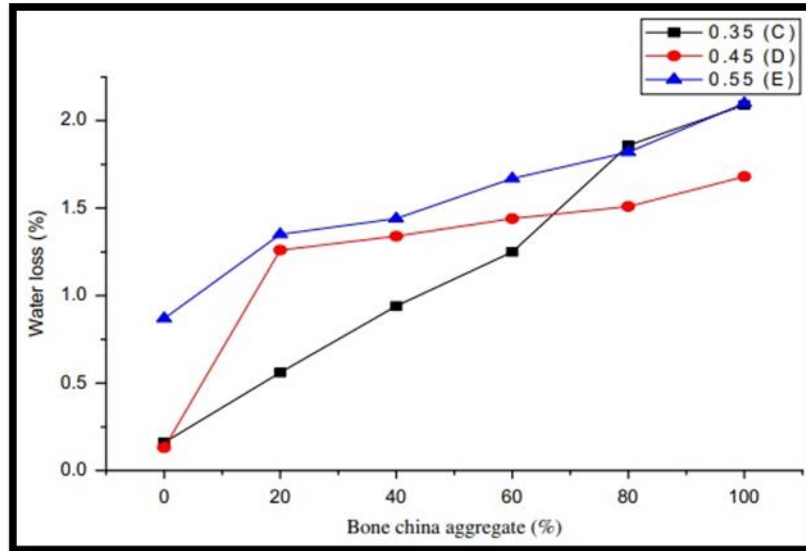


Figure II.15. Ressuage des différents bétons

Dans l'étude de Mohammadhosseini et al.[33], les performances à long terme d'un mortier contenant des granulats fins de déchets de céramique ont été exposées à une attaque de chlorure pendant 18 mois . Les résultats de cette étude ont indiqué que l'utilisation de déchets céramiques sous forme de de granulats fins améliorerait considérablement la résistance à la compression à long terme du mortier et offrirait une plus grande résistance aux environnements agressifs.

D'après le tableau II.2, le remplacement des granulats fins avait considérablement empêché la prise de masse des mortiers sous l'attaque des chlorures. On remarque aussi que la pofondeur de pénétration est réduite. Cette réduction de la pénétration de chlorure dans le mortier céramique est due à la formation de cristaux de C-S-H supplémentaires, qui sont restés inchangés pendant la période d'immersion, et ont donc amélioré les performances du mortier en fournissant une microstructure dense.

Tableau II.2. Caractéristique des mortiers exposés

Mix	Colour	Edge	Shape	Mass gain (%)	Penetration depth (mm)
OPC	Whitish deposit	Fine cracks	Perfect cube	3.8	15
Ceramic	Light grey	Perfect	Perfect cube	2	5



CHAPITRE III
Essais et résultats

III-1-Introduction

Le béton ordinaire est le matériau de choix pour la construction. Ces principaux constituants sont : Le ciment, l'eau, le gravier, le sable.

Dans ce chapitre, un béton ordinaire est formulé par la méthode Dreux-Gorisse. Mais, la fraction sableuse est substituée par un sable issu des déchets céramiques. Afin de comprendre l'effet de la substitution, trois (03) pourcentages sont choisis par incrément de 10%. Un béton ordinaire (BO) plus trois bétons BT10, BT20, BT30 avec 10, 20 et 30% de sable de déchets céramique respectivement 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 I42.5Nfournie par le groupe Lafarge-Holcim établie àM'sila.
- *L'eau potable du laboratoire de génie civil.
- *Un sable concassé au laboratoire, à base de déchets céramiques sanitaire (0/5).

Tableau III.1. les différents matériaux utilisés pour la confection des bétons

Le ciment	Le sable concassé	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 et III.3), 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 (Vm) ce volume.

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

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

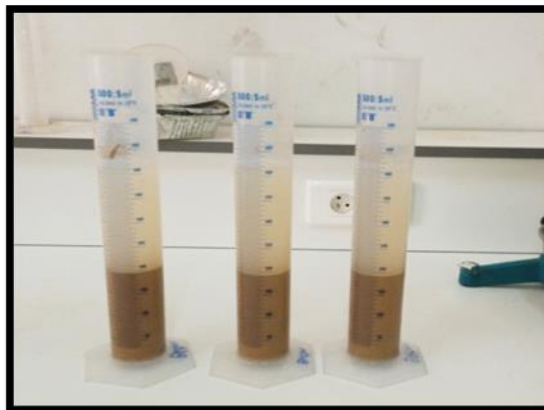


Figure III.1. La masse volumique absolue du sable

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

N°d'essai	M [g]	Ve [cm ³]	Vm [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	

Tableau.III.3 Masse volumique absolue du sable de céramique

N°d'essai	M [g]	Ve [cm ³]	Vm [cm ³]	ρ [g /cm ³]	ρ_{moy} [g /cm ³]
01	300	150	280	2,31	2,31
02	300	150	285	2,22	
03	300	150	275	2,40	

Les masses volumiques apparentes et absolues des granulats sont calculées 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.4 et III.5) 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 :

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



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

Tableau III.4. Masse volumique apparente du sable de dune à l'état lâche

N° d'essai	M1 [g]	M2 [g]	ρ [g /cm3]	ρ_{moy} [g /cm3]
01	116	1456,8	1,49	1,49
02	116	1452,5	1,49	
03	116	1460,9	1,49	

Tableau III.5. Masse volumique apparente du sable de céramique à l'état lâche

N° d'essai	M1 [g]	M2 [g]	ρ [g /cm3]	ρ_{moy} [g /cm3]
01	116	1364	1,39	1,39
02	116	1363	1,39	
03	116	1365	1,39	

La masse volumique à l'état compact (Tableaux III.6 et III.7), 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 $V_r = 900 \text{ cm}^3$

Tableau III.6. Masse volumique apparente du sable de Boussaâda à l'état compact

N° d'essai	M1 [g]	M2 [g]	ρ [g /cm3]	ρ_{moy} [g /cm3]
01	115,1	1525,1	1,57	1,57
02	115,1	1526,1	1,57	
03	115,1	1524,1	1,57	

Tableau III.7. Masse volumique apparente du sable de céramique à l'état compact

N° d'essai	M1 [g]	M2 [g]	ρ [g /cm3]	ρ_{moy} [g /cm3]
01	115,1	1407,1	1,44	1,44
02	115,1	1405,1	1,43	
03	115,1	1408,1	1,44	

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 :

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

On distingue quatre cas :

À l'état lâche :

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

-Pour le sable de dune $PLSD = 42.92\%$

-Pour le sable céramique $PLSC = 39.83\%$

À l'état compact :

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

-Pour le sable de dune $PCSD = 39.85\%$

-Pour le sable céramique $PCSC = 37.67\%$

***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.

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

On distingue quatre cas :

-Pour le sable de dune :

Etat lâche : $CLSD = 57.08\%$

Etat compacte : $CCSD = 60.17\%$

-Pour le sable céramique :

Etat lâche : $CLSC = 60.15\%$

Etat compacte : $CCSC = 62.33\%$

***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 : $ECSD = 0,66\%$

-Pour le sable céramique :

Etat lâche : $ELSC = 0,66\%$

Etat compacte : $ECSC = 0,60\%$

-Les résultats sont représentés dans les tableaux suivants (tableau III.8 et III.9):

Tableau III.8. 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

Tableau III.9. Porosité, compacité et indice des vides pour le sable céramique

Porosité P(%)		Compacité C(%)		Indice des vides e	
Lâche	Compact	Lâche	Compact	Lâche	Compact
39,85	37,67	60,15	62,33	0,66	0,60

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 provoquent des gonflements et des retraites.

Les différentes étapes sont les suivantes :

- *Tamiser une quantité de sable (masse supérieure à 500g).
- *Remplir l'éprouvette de solution lavante 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.3).
- *Retirer le bouchon, le rincer avec la solution lavante 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 lavante atteigne le 2^{ème} 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 règle.
- *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.10 et III.11):

- *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

$$E.S.P = (h'_2 / h_1) \times 100 (\%)$$



Figure III.3. Agitateur pour équivalent de sable

Tableau III.10. 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	

Tableau III.11. Equivalent de sable pour sable céramique visuel et piston

N°d'essai	h ₁ [cm]	h ₂ [cm]	ESV [%]	Moy [%]	h' ₂ [cm]	ESP [%]	Moy [%]
01	10,8	9,9	91,67	86,13	8,9	82,41	80,97
02	11,4	9,4	82,46		9	79,95	
03	10,8	9,1	84,26		8,7	80,56	

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.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.

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.

Tableau III.12. 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	

Tableau III.13. Teneur en eau du sable céramique

N°d'essai	M _h en [g]	M _s en [g]	W [%]	W _{moy} [%]
01	500	497	0,60	0,47
02	500	498	0,40	
03	500	498	0,40	

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.4) 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 R1 de tamis 1).
 - *Reprendre la même opération avec le tamis immédiatement inférieur.
 - *Ajouter le refus obtenu sur le second tamis a R1, soit R2 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 R3, R4,...Rn le tamisât est calculé par la relation : $T = 100 - R_c$
- R_c : refus cumulé en %, T : tamisât en %



Figure III.4. Analyse granulométrique par tamisage

Les résultats de ces opérations sont transcrites aux tableaux III.14 et III.15 :

Tableau III.14. 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

Tableau III.15. Analyse granulométrique du sable céramique

Tamis [mm]	Refus [g]	Refus cumulés		Tamisât [%]
		[g]	(%)	
5	1	1	0.05	99.95
2,5	285	286	14.3	85.70
1,25	212	498	24.9	75.10
0,63	509	1007	50.35	49.65
0,315	638	1645	82.25	17.75
0,16	240	1885	94.25	5.75
0,08	96	1981	99.05	0.95
Fond	15	1996	99.80	0.20

On remarque que le module de finesse du sable de dune est 1.38 ce qui veut dire que c'est un sable fin. Le module de finesse du sable céramique est 2.6 ce qui est l'équivalent d'un sable grossier.

III-3-2-Le gravier

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

Idem que la norme utilisée pour le sable. Les résultats pour les trois fractions sont résumés au tableau III.16.

Tableau III.16. La masse volumique absolue des graviers

Fraction	N°d'essai	M [g]	Ve [cm ³]	V ₁ [cm ³]	ρ [g/cm ³]	ρ _{moy} [g/cm ³]
3/8	01	400	400	550	2,67	2,67
	02			550	2,67	
	03			550	2,67	
8/15	01	400	400	546	2,74	2,64
	02			560	2,50	
	03			550	2,67	
15/25	01	300	300	415	2,61	2,57
	02			415	2,61	
	03			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 « M_1 », 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« M_2 » ce poids.

La masse volumique apparente (tableau III.17) est déterminée par la formule suivante

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

Tableau III.17. 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	

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.18)

Tableau III.18. 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

III-3-2-4-Analyse granulométrique

Les résultats de chaque fraction, sont présentés dans Les tableaux III.19, III.20 et III.21:

Tableau III.19. 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

Tableau III.20. 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

Tableau III.21. 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

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

Le ciment utilisé dans notre étude est un CEM I 42,5N-SR3 (Figure III.5) 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 ces caractéristiques sont résumées au tableau III.22

Tableau III.22. Quelques éléments chimiques du ciment utilisé

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



Figure.III.5. 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.6) 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 sableuse (le sable de dune) est substituée par 10, 20 et 30% d'un sable d'origine céramique sanitaire.

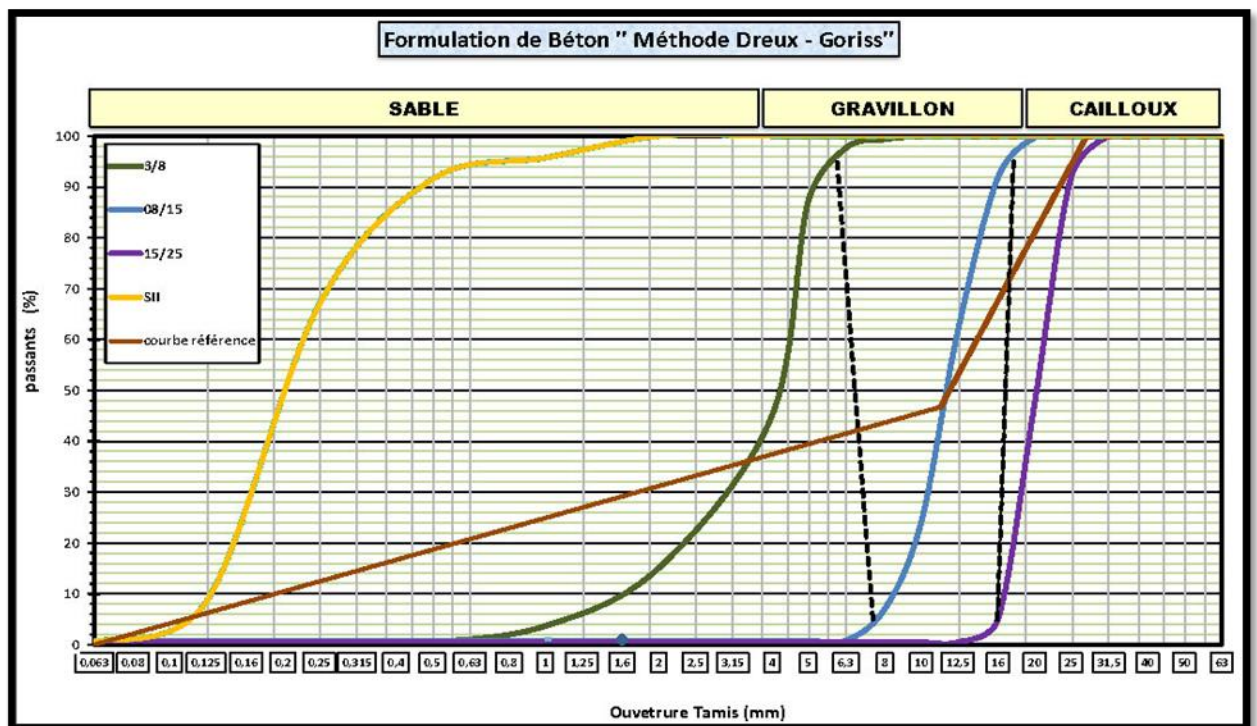


Figure III.6. La courbe de référence selon la méthode Dreux-Gorisse

Cette courbe de référence nous a permis de fixer la quantité (tableau III. 23) de chaque élément de notre béton

Tableau.III.23.Formulation du béton pour 1m³

Éléments	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.7).



Figure III.7. 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.8).



III.8. Confection des bétons étudiés

III-4-3-Moulage et démoulage

Après le malaxage qui dure environ 5 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.9).



Figure III.9. 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 s'est enfoncé (figure III.10).



Figure III.10. Essai d'affaissement au cône d'Abrams

Après la fin des mesures, le béton est aussitôt remis au malaxeur. Les différents affaissements enregistrés sont illustrés à la figure III.10.

Sachant que le rapport E/C est constant pour tous les types de béton étudiés, on remarque d'après la figure III.10 une augmentation de cette caractéristique du béton frais.

Cette augmentation de l'affaissement est proportionnelle à l'introduction et l'accroissement du pourcentage de substitution du sable dunaire par le sable d'origine céramique.

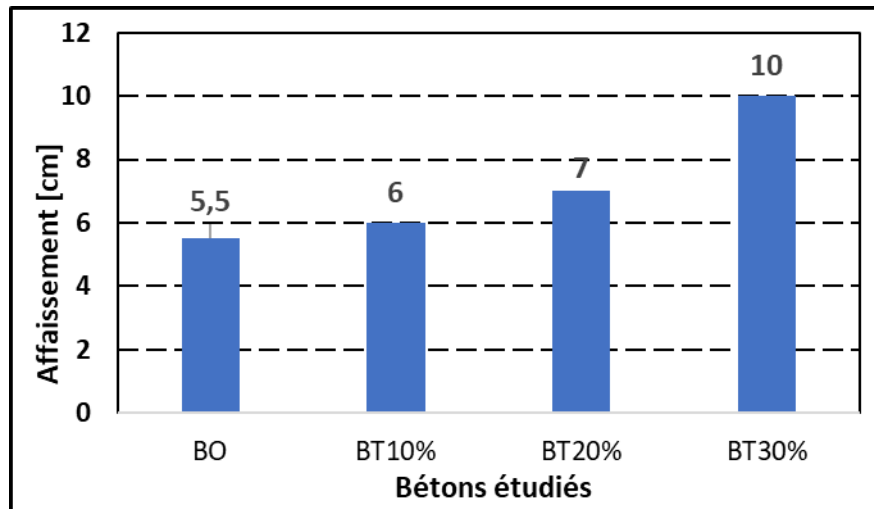


Figure.III.10. Affaissement des différents bétons.

Cette augmentation de l'affaissement est due à l'incorporation des sables d'origine céramique dans le squelette granulaire du béton. 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 [34]. De plus le module de finesse passe de 1.38 pour le sable dunaire à 2.6 pour le sable céramique (d'après les tableaux III.14 et III.15). Ce passage d'un sable fin à un sable grossier facilite l'écoulement l'eau entre la fraction graveleuse et la fraction dunaire.

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

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

On constate d'après la figure III.11, une diminution de la masse volumique des différents bétons avec l'incorporation et l'augmentation du pourcentage d'ajout. Cette diminution est due à la différence de la masse volumique des deux sables utilisés (tableau III.2 et tableau III.3). Le passage de la masse volumique des sables de 2.61 à 2.31 (sable de dune et sable céramique respectivement) diminue la masse volumique du béton tout en restant dans la catégorie des bétons moyens.

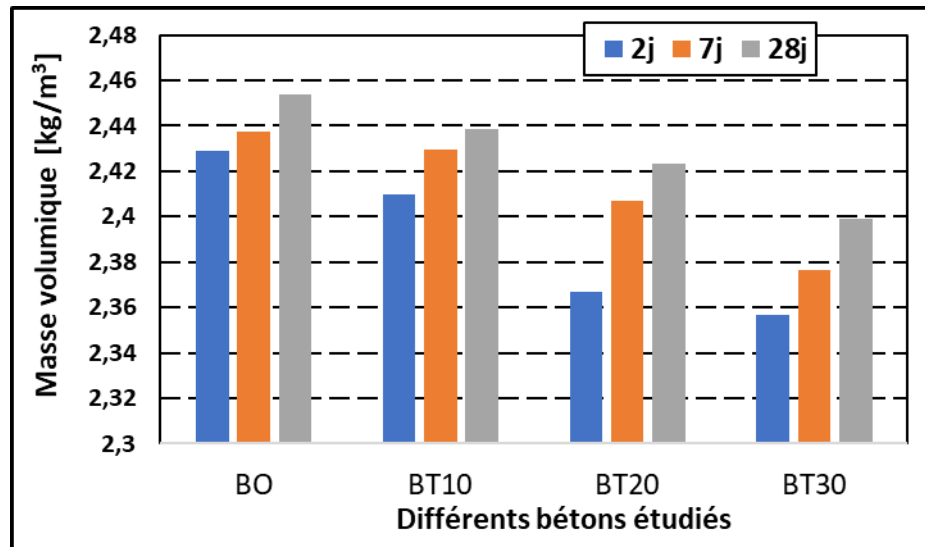


Figure III.11. La masse volumique des bétons élaborés.

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 (10×10×10) 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).



Figure III.12. Machine d'essai de résistance à la compression

Les résultats de cet essai sont illustrés dans la figure III.13.

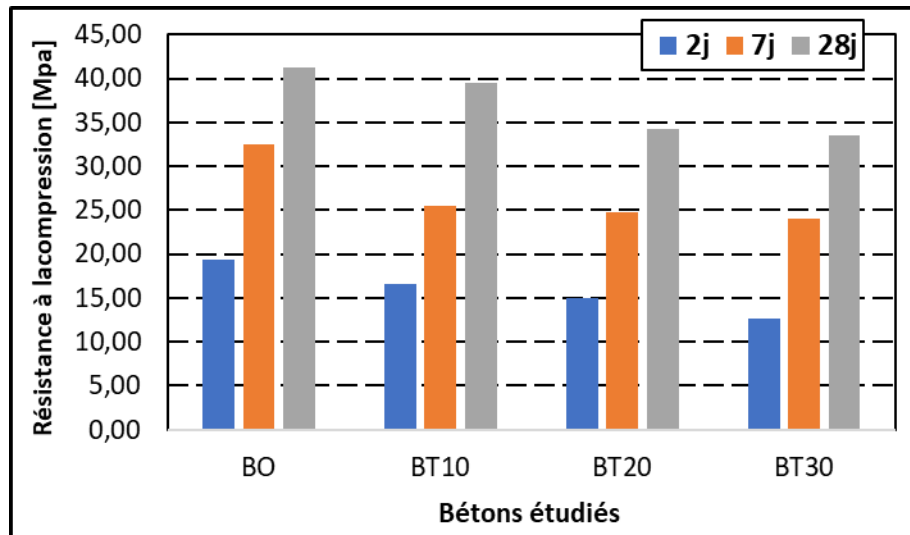


Figure.III.13. Résistance à la compression des différents bétons [Mpa]

D'après les résultats obtenus on remarque que les résistances à la compression des quatre formulations augmentent avec le temps entre 2et 28 jours. On remarque également la diminution de la résistance à fur et à mesure que la substitution du sable naturel par le sable d'origine céramique.Ceci est due peut-être à l'absorption d'eau plus élevée des sables 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.

III-6-3- Essai au scléromètre

L'essai au scléromètre (figure III.14) 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. intéressante en raison des simplicités; 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.

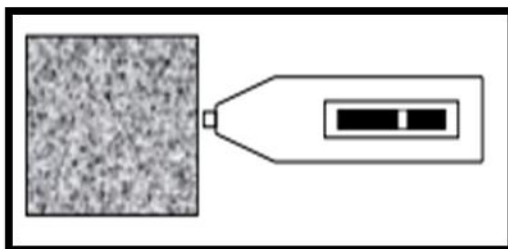


Figure III.14.Essai au scléromètre

Dans la figure III.15, on remarque que l'indice sclérométrique augmente avec le temps. Cet indice enregistre aussi une augmentation lorsque la substitution est introduite. Ce

test confirme les deux tests précédents. Malgré la substitution tous les bétons avec du sable céramique enregistrent un indice très proche du béton témoin.

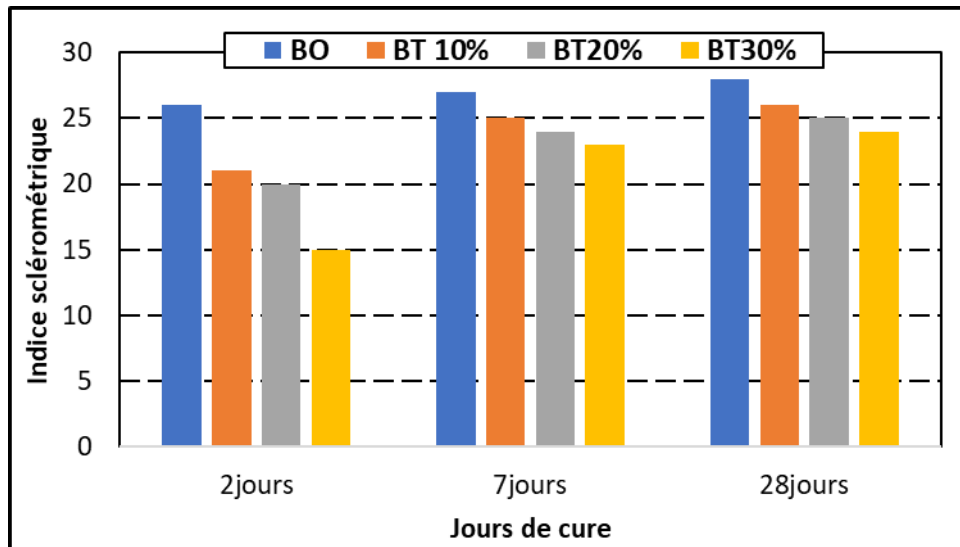


Figure III.15. Essai sclérométrique.

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 ($\mu\text{m/m}$). ΔL et L_0 sont mesurés à l'aide d'un déformomètre équipé d'un comparateur (figure III.16) 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 INVVAR de façon à ce que les variations de température, au cours de la manipulation, n'entraînent pas des modifications appréciables sur sa longueur.[35]



Figure III.16. Appareil de retrait.

D'après la figure III.17, 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 BO les plus long est celui du BT30.

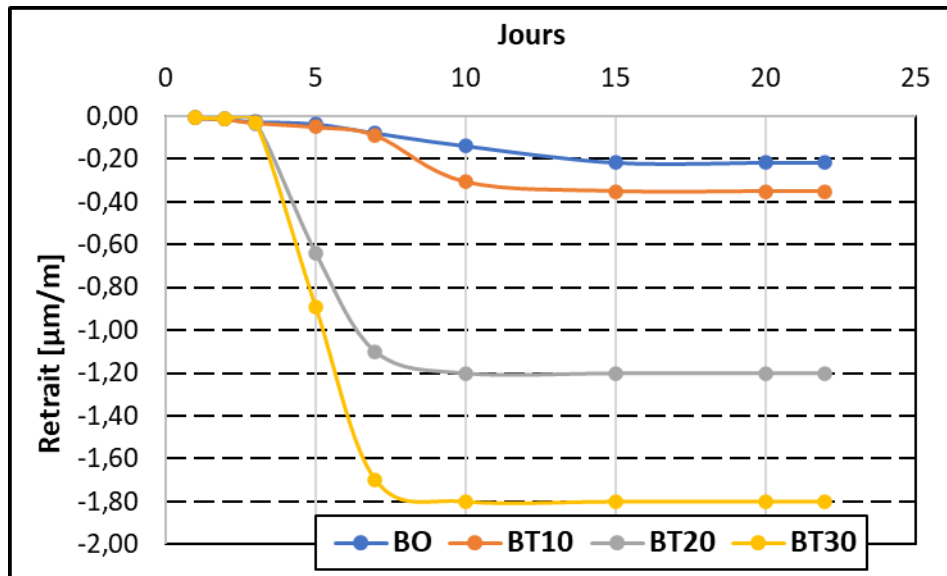


Figure III.17. Appareil de retrait.

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

L'absorption par immersion a été effectuée, en séchant les éprouvettes cubiques ($10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$) 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 ;

M_1 : poids sec du matériau ;

M_2 : poids humide du matériau

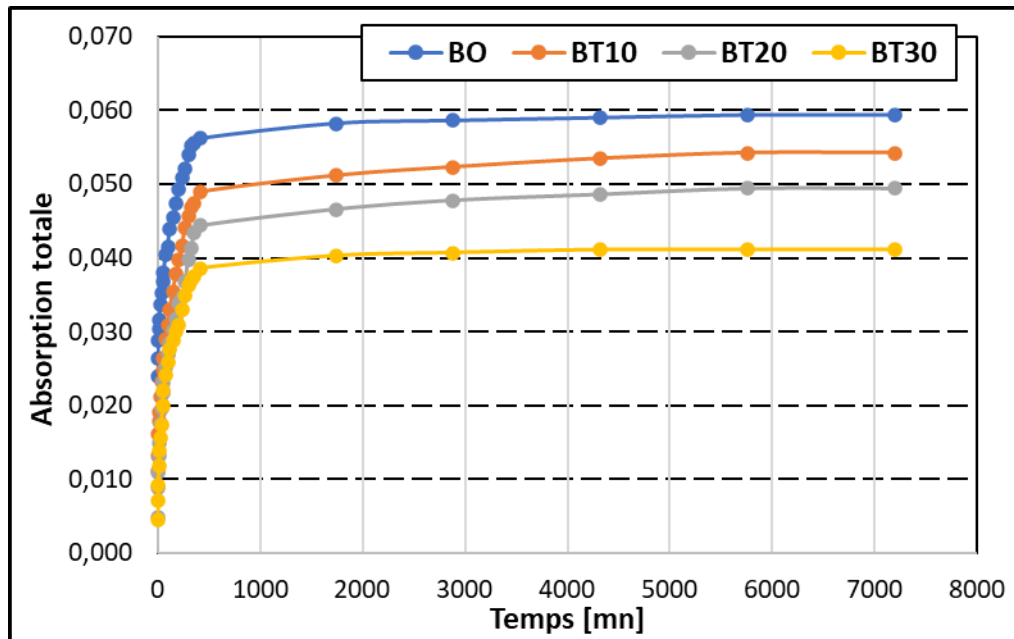


Figure III.18. Absorption totale des bétons étudiés

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.18).

Cette diminution est dû peut-être à la diminution des pores dans les bétons des déchets céramique et l'emprisonnement de l'eau de gâchage dans les sables céramiques.

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).

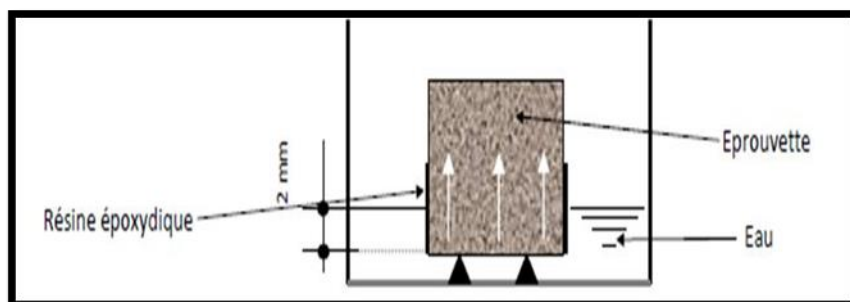


Figure III.19 : Essai d'absorption par capillarité

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.19).

La hauteur d'imbibition est mesurée à l'aide d'un pied à coulisse. La figure III.20 illustre cette caractéristique.

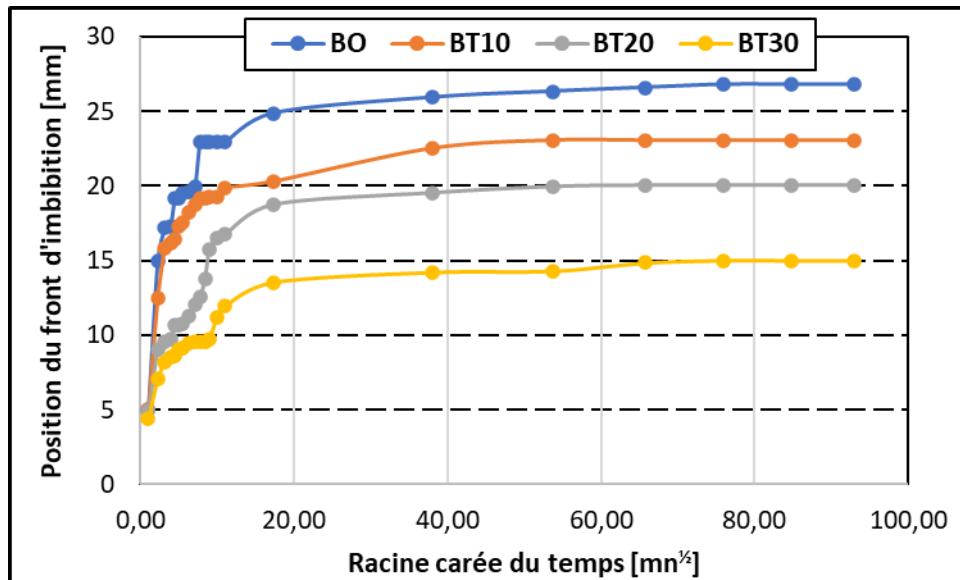


Figure III.20. Evolution de l'absorption capillaire en fonction de \sqrt{t} .

En constate deux temps dans cette courbe avant cinq heures et après cette période. Dans les premières heures la pente est due aux fissures créés 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 étroit avec l'augmentation du remplacement.



CONCLUSION

CONCLUSION GÉNÉRALE

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 différentes manipulations non délicates. Que ce soit à l'usine dans leurs transports ou dans la pose un nombre considérable est stocké sans avenir ou perspective à leur valorisation.

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

- * L'augmentation de l'affaissement est due à l'incorporation des sables céramiques dans le béton.
- * Une diminution de la masse volumique avec l'incorporation et l'augmentation du pourcentage d'ajout. Cette diminution est due à la différence de la masse volumique des deux sables utilisés.
- * Les résistances à la compression augmentent avec le temps mais elles diminuent à mesure que le pourcentage de céramique augmente, ceci est dû à l'absorption d'eau plus élevée des sables céramiques.
- * L'indice sclérométrique augmente avec le temps et aussi même lorsque la substitution est introduite.
- * Une augmentation du retrait due au plus grand besoin en eau des mélanges avec l'augmentation de la substitution.
- * L'absorption de béton de céramique diminue avec l'augmentation du dosage en céramique.
- * À l'absorption capillaire, la pente est due aux fissures créées par le retrait ainsi que la topologie des micropores.

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



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., « Le béton hydraulique », Presse de l'école nationale des ponts et chaussées, Paris, 560 p., 1982.
- [4] MAILLOT R., « Mémento technique des Granulats », les Presses de l'Ecole des Mines, Paris, 166 p., 2001..
- [5] RACHI LEILA et DENDANI MOHAMED AMINE « thèse INFLUENCE DES DIFFERENTES GRANULOMETRIES DES AGREGATS SUR LE COMPORTEMENT MECANIQUE DU BETON ORDINAIRE. » 2016.
- [6] Presse de l'école national des ponts et chaussées LCPC : «Le béton hydraulique, connaissances et pratique» P409, 1998.
- [7] Baron, Jaques et Ramond Sauterey : « le béton hydraulique : Connaissances et pratique», Paris 1995.
- [8] Zarauskas, L., Skripkiūnas, 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.
- [9] Brozovsky, J. (2014). High-strength concrete–NDT with rebound hammer: influence of aggregate on test results. *Nondestructive Testing and Evaluation*, 29(3), 255-268.
- [10] Huang, Y., Ding, Y., Xie, T., & Fei, D. (2021). Effect of coarse-aggregate shape on strength of hydraulic concrete. *Structural Concrete*, 22, E710-E719.
- [11] 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.
- [12] Ph. PICHAT, La gestion des déchets, Édition Flammarion (Paris), 1995.
- [13] FERHI M, 2013. Le recyclage des déchets en Algérie
- [14] LUCIEN Y et al, 1994. Déchets urbains (Nature et caractéristique) Presses Polytechnique et Universitaire Romandes, Lausanne (CH). P 1
- [15] G. BERTOLINI, montre-moi tes déchets, Édition l'Harmattan, 2011, P 11.
- [16] MOLETTA R, 2009 : le traitement des déchets, Editions TEC&DOC. P 685.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] N. LOUAI, « Evaluation Energétique des déchets solides en Algérie, une solution climatique et un nouveau vecteur énergétique », mémoire de magistère, 2009
- [20] 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
- [21] O. REDJAL, « Phénomène de prolifération des déchets urbains et stratégie de préservation de l'écosystème - Exemple de Constantine », mémoire de magistère, 2005.

BIBLIOGRAPHIE

- [22] 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.
- [23] MANUEL d'information sur la gestion et l'élimination des déchets solides Urbains résumé les déchets solides urbains P 48-49,63
- [24] BERTHOLON J, 2002 ; Les déchets solides et l'incinération des ordures ménagères, Mémoire de fin de cycle Université de Cergy-Pontoise. P 20
- [25] 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 furnace slag using apparent activation energy. *Materials*, 13(2), 442.
- [26] 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 furnace slag (GGBFS) mortar. *Construction and Building Materials*, 260, 120622.
- [27] Bourmatte Nadjoua, «Granulats recyclés de substitution pour bétons hydrauliques». Thèse de doctorat, Université des frères Mentouri Constantine 12 Mars 2017.
- [28] 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)).
- [29] Tamanna, N., & Tuladhar, R. (2020). Sustainable use of recycled glass powder as cement replacement in concrete. *The Open Waste Management Journal*, 13(1).
- [30] Garrick, G.M. "Analysis and Testing of waste tire fiber :modified concrete ", M.sc. Thesis, University of Louisiana state , U.S.A , Louisiana ,2005.
- [31] Siddique, S., Chaudhary, S., Shrivastava, S., & Gupta, T. (2019). Sustainable utilisation of ceramic waste in concrete: Exposure to adverse conditions. *Journal of cleaner production*, 210, 246-255.
- [32] Siddique, S., Shrivastava, S., & Chaudhary, S. (2019). Influence of ceramic waste on the fresh properties and compressive strength of concrete. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 23(2), 212-225
- [33] Mohammadhosseini, H., Lim, N. H. A. S., Tahir, M. M., Alyousef, R., Alabduljabbar, H., & Samadi, M. (2019). Enhanced performance of green mortar comprising high volume of ceramic waste in aggressive environments. *Construction and Building Materials*, 212, 607-617.
- [34] 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.
- [35] DUPAIN. R, LANCHON. R et SAINT-ARROMAN .J.C.: «Granulats , sols , ciments et bétons» P236, édition Casteilla 1995.