

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
dans le cadre du décret ministériel 1275

Par: BOUAZIZ rowaida & FERDJOUKH Nor elhouda

*Comportement d'un béton ordinaire sous l'influence
d'un sable de déchets de type céramique sanitaire*

Soutenu devant le jury composé de:

Pr. NACERI Abdel Ghani	Université de M'sila	Président
Dr. CHIKOUHCE Mohamed Aziz	Université de M'sila	Encadreur
Dr. BAALI Laid	Université de M'sila	Co-Encadreur
Dr. BOUALLEG Saida	Université de M'sila	Examineur
Mr. Ben Aissa Hamza	Wilaya de M'sila	Partenaire Economique
Dr. DJERIOUI Ali	Université de M'sila	Representant du CATI

Année universitaire : 2022 / 2023

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
dans le cadre du décret ministériel 1275

Par: BOUAZIZ rowaida & FERDJOUKH Nor elhouda

*Comportement d'un béton ordinaire sous l'influence
d'un sable de déchets de type céramique sanitaire*

Soutenu devant le jury composé de:

Pr. NACERI Abdel Ghani	Université de M'sila	Président
Dr. CHIKOUHCE Mohamed Aziz	Université de M'sila	Encadreur
Dr. BAALI Laid	Université de M'sila	Co-Encadreur
Dr. BOUALLEG Saida	Université de M'sila	Examineur
Mr. Ben Aissa Hamza	Wilaya de M'sila	Partenaire Economique
Dr. DJERIOUI Ali	Université de M'sila	Représentant du CATI

Année universitaire : 2022 / 2023

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

REMERCIEMENTS

*Tout d'abord, nous exprimons notre gratitude à Allah,
le Tout-Puissant, pour nous avoir accordé la force,
la patience, la santé et la volonté nécessaires pour mener à bien cette recherche.*

*Car l'homme propose, mais c'est Dieu qui décide,
que Ses pas nous guident toujours.*

*Nous tenons à adresser nos sincères remerciements
et notre plus profond respect à notre Encadreur,*

Monsieur Chikouche Mohamed Aziz,

ainsi qu'à notre Co-Encadreur, Monsieur Baali laid.

*Ils ont accepté de nous encadrer et nous sommes reconnaissants
pour leur disponibilité inépuisable,*

leur rigueur et leur honnêteté scientifique, ainsi que pour

leurs précieuses remarques, conseils

et la confiance qu'ils nous ont témoignée tout au long de ce travail.

*Nous souhaitons également exprimer nos vifs remerciements aux membres
du jury pour avoir accepté d'examiner notre mémoire,*

ainsi qu'à tous les enseignants du département de Génie civil.

*En cette occasion, nous remercions chaleureusement tous les ingénieurs
du Laboratoire de Génie civil, ainsi que toutes les personnes qui,*

de près ou de loin, ont contribué à la réalisation

et au bon déroulement de ce travail.



Merci à tous

Dedicace

Je souhaite exprimer ma gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à mon succès. À mon cher père, tu as été mon guide, mon protecteur et mon inspiration. À ma merveilleuse mère,

vos prières ont façonné ce que je suis aujourd'hui.

Il est difficile de trouver les mots justes pour exprimer toute l'admiration et la gratitude que j'ai envers vous et mes frères.

Merci d'être présents dans ma vie.

Je tiens également à remercier ma sœur et amie Rowaida, qui a été la source de ma détermination jusqu'à ce moment.

Merci de me soutenir.

À toutes mes amies, Sarah, Abir, Hafsa, Soumaia, et bien sûr notre mentor Amal, je ne vous ai pas oubliées.

Vous avez également joué un rôle important dans mon parcours, et je vous suis reconnaissant pour cela.

Ferdjoukh nor elhouda

Dedicace

*À l'aide d'Allah, le tout puissant, j'ai pu réaliser ce travail
que je dédie :*

*À mes chers parents qui ont sacrifié leur vie pour
notre réussite. J'espère qu'un jour je pourrai
leurs rendre un peu de ce qu'ils ont fait pour moi,
que dieu leur accorde bonheur et longue vie.*

*À ma petite famille, mon grande frère abd Elaziz ,
mohamed saif eldine et ma soueur ammel pour son affection,
compréhension et patience.*

*A celle qui a été la raison de ma fermeté pour ce moment,
ma soeur et mon amie Nor elhouda , merci de me soutenir*

*A toutes mes amies : chahinez ,Sarah, Abir, Soumia
et ma cousine : iman Nor elyakine*

Bouaziz Rowaida

Sommaire

	Titre	Page
Remerciements		
Dédicaces		
Sommaire.....		X
Listes des figures.....		XIII
Liste des tableaux.....		XV
ملخص.....		XVI
Résumé.....		XVII
Abstract.....		XVIII
INRODUCTION GENERALE.....		2

CHAPITRE I Les sables dans le béton

I-1-Introduction.....	5
I-2-Définition.....	5
I-3-Différents types de sables	6
I-3-1-Sable de plage	6
I-3-2-Sable de rivière	7
I-3-3-Sable marin.....	8
I-3-4-Sable du désert	9
I-3-5-Sable de silice.....	9
I-4-Caractéristiques de sables.....	10
I-4-1-Caractéristique géométrique	10
I-4-1-1-Granulométrie.....	10
I-4-1-2-Module de fines	10
I-4-2-Caractéristique physicochimique	10
I-4-2-1-La masse volumique.....	10
I-4-2-2-Porosité et compacité	10
I-4-2-3- L'absorption	10
I-4-2-4-La teneur en eau.....	11
I-4-2-5-La propreté.....	11
I-4-2-6-Dimensions.....	11
I-5-Influence des caractéristiques sur le comportement des bétons.....	11

CHAPITRE II

Valorisation des sables recyclés dans le béton

1-Définition.....	18
2-Diffèrent type des déchets.....	18
2-1-Déchets ménagers et assimilés.....	18
2-2-Déchets encombrants.....	19
2-3-Déchets spéciaux	19
2-4-Déchets spéciaux dangereux	20
2-5-Déchets d'activité de soins	20
2-6-Déchets inertes.....	20
3-Gestion des déchets.....	20
3-1-La Collecte.....	20
3-2-Le traitement.....	21
3-3-La valorisation	21
4-Les déchets en génie civil.....	21
4-1-Valorisation des déchets en matériaux de construction.....	22
4-1-1-Laitier de haut fourneau granulé broyé	22
4-1-2-Le Verre	22
4-1-3-Les Pneus usagés.....	24
4-1-4-La boue de papeterie	25
5-Les déchets de céramique.....	26
5-1-Définition.....	26
5-2-Composition de céramique sanitaire	26
5-3-Fabrication de céramique sanitaire	27
5-4-Déchets céramique sanitaire	28
6-Les déchets céramique sanitaire dans le béton	29

CHAPITRE III

Essai et résultats

III.1. Caractéristiques des matériaux.....	36
III.1.1. Introduction	36
III.2. Le sable	37
III.2.1. Masse volumique absolue	37
III.2.2. Masse volumique apparente	38
III.2.3. Porosité, Compacité et indice des vides	39
III.2.4. Teneur en eau	39
III.2.5. Degré d'absorption d'eau	40
III.2.6. Analyse granulométrique	40
III.2.7. Equivalent de sable.....	42
III.3. Les graviers	43
III.3.1. Masse volumique absolue.....	43
III.3.2. Masse volumique apparente	44
III.3.3. Porosité, compacité et indice des vides.....	45
III.3.4. Analyse granulométrique	45

III.4. Caractéristiques du ciment utilisé (CEMI MOUKAWIM).....	46
III.5. Formulation du béton.....	47
III.6. Elaboration des bétons.....	48
III.6.1. Confection des éprouvettes	48
III.6.2. Moulage et démoulage.....	49
III.7. Essai sur béton frais.....	49
III.7.1. Affaissement au cône d'Abrams.....	49
III.8. Essais sur béton durci.....	50
III.8.1. La masse volumique.....	50
III.8.2. Résistance à la compression	51
III.8.3. Essai à ultrason.....	53
III.8.4. Retrai.....	54
III.8.5. Essai d'absorption par immersion.....	55
III.8.6. L'absorption capillaire	56
III.8.7. La porosité accessible à l'eau par pesée hydrostatique	57
CONCLUSION GENERALE.....	60
BIBLIOGRAPHIE.....	63

Liste des figures

CHAPITRE I

Les sables dans le béton

Figure I-1. La granularité des sables.....	6
Figure I-2. Extraction du sable de plage.....	7
Figure I-3. Un sac de sable de rivière.....	8
Figure I-4. Les plus grands producteurs des sables marins aux mondes.....	9
Figure I-5. Analyse en microscopie électronique à balayage environnemental des grains de sable du désert....	9
Figure I-6. Relation entre la surface et la résistance à 28jours selon Li et al.....	11
Figure I-7. Relation entre le pourcentage de silice et l'abrasion selon Li et al.....	12
Figure I-8. Rugosité des surfaces de sables étudiés par Shen et al.....	13
Figure I-9. Affaissement des bétons selon Pilegis et al.....	13
Figure I-10. Résistance à la compression des bétons selon Pilegis et al.....	14
Figure I-11. Variation de l'affaissement pendant 90minutes selon Tahar et al.....	15
Figure I-12. Variation de l'affaissement pendant 120 minutes selon Zhao et al.....	15
Figure I-13. Variation de la résistance à la compression Heidari et al.....	16

CHAPITRE II

Valorisation des sables recyclés dans le béton

Figure II-1. Taux d'humidité dans les déchets ménagers et assimilés.....	19
Figure II-2. Distribution des déchets encombrants sur les plages du golf d'Annaba.....	19
Figure II-3. Collecte des déchets par camion à benne-tasseuse.....	20
Figure II-4. Le traitement des déchets en 2004 à gauche en 2014 à droite.....	21
Figure II-5. Chaleur d'hydratation d'un béton avec et sans laitier.....	22
Figure II-6. Processus de fabrication du verre.....	23
Figure II-7. Effet de l'utilisation de fines particules de verre sur la microstructure du béton.....	23
Figure II-8. Effet du caoutchouc des pneus usagés sur l'ouvrabilité et la masse volumique du béton. SF	24
Figure II-9. Résistance à la compression et indice d'activité d'un ciment modifié par la boue de papeterie	25
Figure II-10. Les déchets de céramique sanitaire.....	26
Figure II-11. Procédé général de fabrication des céramiques.....	28
Figure II-12. Les déchets de céramique sanitaire.....	28
Figure II-13. Affaissement des bétons selon Awoyera et al.....	29
Figure II-14. Résistance à la compression pour les bétons à sable céramique selon Awoyera et al....	30
Figure II-15. Sable céramique (en haut) Microstructure d'une particule (en bas) selon Siddique et al.	31
Figure II-16. Résistance à la compression à 28 jours des bétons selon Siddique et al.	32
Figure II-17. Image SEM d'un ITZ pâte/basalte (en haut) et pâte/céramique (en bas) selon Zegardlo et al.	33
Figure II-18. Modélisation de l'ITZ pâte/basalte (à gauche) et pâte/céramique (en droite) selon Zegardlo et al	33

CHAPITRE III

Essai et résultats

Figure III.1. Les différents matériaux utilisés.....	36
Figure III.2. Masse volumique absolue du sable.....	37

Figure III.3. Analyse granulométrique du sable.....	41
Figure III.4. Agitateur pour équivalent de sable.....	43
Figure III.5. Courbe de référence du béton de référence.....	47
Figure III.6. Malaxage du béton ordinaire.....	48
Figure III.7. Confection des bétons étudiés.....	48
Figure III.8. Etiquetage des différents bétons.....	49
Figure III.9. Essai de cône d'Abrams.....	50
Figure III.10. Affaissement des différents bétons.....	50
Figure III.11. La masse volumique des bétons élaborés.....	51
Figure III.12. Machine d'essai de résistance à la compression.....	52
Fig.III.13. Résistance à la compression des différents bétons	52
Figure III.14: Appareil ultrason.....	53
Figure III.15. Propagation des ondes ultrasonores.....	54
Figure III.16. Dispositif de mesure pour retrait.....	54
Figure III.17. Retrait des différents bétons.....	55
Figure III.18. Absorption totale des bétons étudiés.....	56
Figure III.19. Essai d'absorption par capillarité.....	56
Figure III.20. Evolution de l'absorption capillaire en fonction de \sqrt{t}.....	57

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I Les sables dans le béton

Tableau I-1. Résistance à la compression selon Shen et al.....	12
--	----

CHAPITRE III

Essai et résultats

Tableau III. 1. Masse volumique absolue de sable naturel.....	37
Tableau III.2. Masse volumique absolue de sable céramique.....	37
Tableau III.3. Masse volumique apparente à l'état lâche du sable naturel.....	38
Tableau III.4. Masse volumique apparente à l'état lâche du sable céramique.....	38
Tableau III. .Masse volumique apparente du sable de Boussaâda à l'état compact...	38
Tableau III. . Masse volumique apparente du sable de céramique à l'état compact...	38
Tableau III.5. Porosité, compacité et indice des vides du sable naturel.....	39
Tableau III.6. Porosité, compacité et indice des vides pour le sable céramique.....	39
Tableau III.7. Teneur en eau de sable naturel.....	39
Tableau III.8. Teneur en eau du sable céramique.....	40
Tableau III.9.Absorption d'eau du sable naturel.....	40
Tableau III.10.Absorption d'eau du sable céramique.....	40
Tableau III.11. Analyse granulométrique du sable naturel.....	41
Tableau III.12. Analyse granulométrique de sable céramique.....	42
Tableau III.13. Classification des modules de finesse des sables.....	42
Tableau III.14. Résultats obtenus pour l'équivalent de sable naturel.....	43
Tableau III.15. Masse volumique absolue de gravier 3/8.....	44
Tableau III.16.Masse volumique absolue de gravier 8/16.....	44
Tableau III.17.Masse volumique absolue de gravier 16/25.....	44
Tableau III.18. Masse volumique apparente du gravier 3/8.....	44
Tableau III.19. Masse volumique apparente gravier 8/15.....	44
Tableau III.20 Masse volumique apparente gravier 16/25.....	44
Tableau III.21. Porosité, compacité et indice des vides.....	45
Tableau III.22. Analyse granulométrique du gravier 3/8.....	45
Tableau III.23. Analyse granulométrique gravier 8/16.....	45
Tableau III.24. Analyse granulométrique du gravier 16/25.....	46
Tableau III.25. Quelque élément chimique du ciment utilisé.....	46
Tableau.III.26. Formulation du béton pour 1m3.....	47
Tableau. III.27. Désignation des bétons utilisés.....	49
Tableau III.28. Taux des vides dans les bétons.....	57

ملخص

تستخدم الخرسانة على نطاق واسع في صناعة البناء بسبب خصائصها ومتانتها. ومع ذلك، فإن استخراج المكونات اللازمة لإنتاجها، مثل الأسمنت والرمل، له تأثير سلبي على البيئة من خلال استنزاف مواردها غير المتجددة

من ناحية أخرى، تعد إدارة النفايات على المدى الطويل قضية رئيسية أيضاً. تشكل النفايات الخاملة، على وجه الخصوص، تحديًا نظرًا لمقاومتها للتحلل. من بين هذه النفايات نفايات السيراميك الصحية التي غالبًا ما يتم كسرها أثناء تصنيعها، نقلها أو تركيبها في موقع البناء.

من بين حلول المشاكل البيئية المذكورة هو استعادة هذه النفايات وتثمينها في إنتاج الخرسانة. الهدف من هذه الدراسة هو دراسة تأثير استبدال رمل الكثبان الرملية بالرمل المسحوق الناتج من نفايات الخزف الصحي.

من أجل الوصول أجل الوصول إلى خاتمة البحث ارتأينا تقسيم المذكرة إلى ثلاث فصول بالإضافة إلى مقدمة عامة. الفصل يتحدث عن مختلف أنواع الرمل وكيفية استخراجها، أما الفصل الثاني فيتناول مختلف النفايات المستعملة في إنتاج الخرسانة. الفصل الثالث يتطرق لمختلف التجارب التي أجريت على الخرسانة. في الأخير قدمنا حوصلة للبحث مع بعض التوصيات.

الكلمات المفتاحية: البيئة، الخرسانة، الرمل، الخزف الصحي، تثمين النفايات.

Résumé

Le béton est largement utilisé dans l'industrie de la construction en raison de ses propriétés et de sa durabilité. Cependant, l'extraction des ingrédients nécessaires à leur fabrication, tels que le ciment et le sable, a un impact négatif sur l'environnement en épuisant les ressources non renouvelables.

D'autre part, la gestion à long terme des déchets est également un enjeu majeur. Les déchets inertes, en particulier, posent un défi en raison de leur résistance à la décomposition. Parmi ces déchets figurent les déchets de céramiques sanitaires qui sont souvent fissurés ou brisés lors de leur fabrication, de leur transport ou de leur installation sur le chantier.

Parmi les solutions aux problèmes environnementaux précités figure la valorisation de ces déchets et leur valorisation dans la production de béton. L'objectif de cette étude est d'étudier l'effet du remplacement du sable de dunes par du sable concassé produit à partir de déchets céramiques sanitaires.

Afin d'arriver à la conclusion de la recherche, nous avons décidé de diviser notre projet en trois chapitres, en plus d'une introduction générale. Le chapitre parle des différents types de sable et comment les extraire, tandis que le deuxième chapitre traite des différents déchets utilisés dans la production de béton. Le troisième chapitre traite des différentes expérimentations menées sur le béton. À la fin, nous avons présenté un résumé de la recherche avec quelques recommandations.

Mots clés : Environnement, béton, sable, céramique sanitaire, valorisation des déchets.

Abstract

Concrete is widely employed in the construction industry due to its properties and durability. However, the extraction of the ingredients needed to produce them, like cement and sand, has a negative impact on the environment by depleting non-renewable resources.

On the other hand, the long-term management of waste represents a crucial issue. Inert waste, particularly, poses a challenge due to its resistance to decomposition. Among these wastes are sanitary ceramic wastes which are often cracked or broken during their manufacture, transport, or installation on the construction site.

Among the solutions to these environmental problems is the recovery of this waste and its recovery in the production of concrete. The objective of this study is to investigate the effect of replacing dune sand with crushed sand produced from sanitary ceramic waste.

To conclude the research, we decided to divide our project into three chapters, in addition to a general introduction. The chapter talks about the diverse types of sand and how to extract them, while the second chapter deals with the numerous wastes used in the production of concrete. The third chapter deals with the various experiments carried out on concrete. In the end, we presented a summary of the research with some recommendations.

Keywords: Environment, concrete, sand, sanitary ceramics, waste valorisation.



**Introduction
Générale**

Introduction générale

Les premiers humains ont manipulé leur environnement pour se protéger des éléments extérieurs. Il s'agissait généralement de structures temporaires comme des appentis ou des brise-vent. Ces structures étaient fabriquées à partir d'os d'animaux et de pierre. Les matériaux de construction comprenaient des bâtons et des branches, de l'herbe, de la boue et des peaux d'animaux. Plus tard, L'Égypte ancienne, la Grèce, Rome et la Chine ont fait d'énormes progrès significatifs dans la construction des édifices. Les pyramides d'Égypte, les temples de Grèce et les palais impériaux de Chine continuent d'inspirer à ce jour les ingénieurs, scientifiques et les architectes.

Les matériaux anciens étaient fabriqués en broyant et en brûlant du gypse ou du calcaire. Lorsque du sable et de l'eau ont été ajoutés à ces liants, ils sont devenus du mortier, qui était un matériau semblable à du plâtre utilisé pour coller les pierres les unes aux autres. Au cours de milliers d'années, ces matériaux ont été améliorés et combinés avec d'autres matériaux.

Au fur et à mesure que de plus en plus de personnes s'installaient dans les villes, l'échelle et la portée de la construction augmentaient. Les humains ont construit des structures permanentes de plus en plus sophistiquées où ils pouvaient vivre, travailler et se rassembler, ainsi que l'infrastructure pour soutenir la vie sédentaire. L'essor de la profession de la construction a coïncidé avec l'essor de la science moderne aux XVIIe et XVIIIe siècles. Les percées scientifiques ont permis aux architectes et aux ingénieurs d'expérimenter un plus large éventail de matériaux et de formes. Combinées aux avancées technologiques réalisées lors de la révolution industrielle du XIXe siècle, ces innovations ont déclenché une vague de changement dans la construction.

L'un des développements les plus importants de cette période a été l'introduction du ciment Portland. Ce matériau permet la liaison d'un bon nombre d'ingrédients. Mélangé avec de l'eau, la pâte de ciment est connue pour son utilisation dans les travaux de maçonnerie. Lorsqu'on ajoute à ce mélange des granulats fin comme du sable il devient mortier. Avec l'augmentation de la fraction granulaire on l'appelle béton.

Le niveau de vie élevé dépend entièrement de la disponibilité des ressources naturelles. L'extraction et la transformation des matières premières ont toujours un impact sur l'environnement, entraînant une dégradation des sols. L'utilisation de produits fabriqués à partir de matières premières entraîne presque toujours des émissions de gaz à effet de serre, de la pollution, des dommages aux écosystèmes et/ou une perte de biodiversité. Le béton est un grand consommateur des ressources naturelles. Le ciment, la sable, les graviers sont issus de sols non renouvelables. Des millions ou des milliards d'années de transformation, de néoformation et de sédimentation se trouvent englouties dans quelques années.

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 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.

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.

L'objectif de la thèse

L'objectif de ce projet est l'étude de l'effet du remplacement partiel du sable naturel par un sable recyclé issu des déchets de céramiques dans la composition d'un béton ordinaire.

Structure de la thèse

Pour arriver à notre fin, on a divisé la thèse en trois chapitres plus une introduction et une conclusion générale.

*Le premier chapitre, relate sur les sables, leur origine et comment ils peuvent à travers leurs caractéristiques influencé le comportement des bétons

*Le deuxième chapitre, récite l'origine des déchets et ceux valorisés dans le béton comme le verre et les pneus usagés ainsi que les sables d'origine céramique.

*Le troisième chapitre, est consacré à l'explication des différents résultats issue de la substitution partielle du sable de dune par un sable de déchet d'origine céramique.



CHAPITRE I
Les sables dans le béton

CHAPITRE I

Les sables dans le béton

I-1-Introduction

Le béton est le matériau de développement structurel le plus largement utilisé dans l'industrie de la construction structurelle en raison de sa résistance et de sa stabilité structurelle élevées.

Il se compose d'un mélange judicieusement choisi de liants tels que la chaux ou le ciment, de granulats fins et grossiers bien calibrés, d'eau et d'adjuvants (pour produire un béton aux propriétés particulières). Dans un mélange de béton, le ciment et l'eau forment une pâte ou une matrice qui, en plus de remplir les vides des granulats fins, recouvre la surface des granulats fins et grossiers et les lie ensemble.

Le béton fraîchement mélangé avant la prise est appelé béton humide ou vert, tandis qu'après la prise et le durcissement, il est appelé béton pris ou durci. Le mélange de béton moulé après un durcissement suffisant devient dur comme de la pierre en raison de l'action chimique entre l'eau et le liant.

La plupart des structures anciennes et des bâtiments historiques avaient été construits avec du béton à la chaux. L'utilisation du béton à la chaux s'est limitée à la réalisation de soubassements de fondations en béton et de toits terrasses. Les principaux facteurs responsables de la large utilisation du béton de ciment sont le durcissement précoce, la résistance à la compression précoce élevée, le développement des propriétés souhaitées avec des adjuvants à utiliser dans des situations défavorables, la pompabilité et la durabilité [1].

Les granulats sont des matériaux essentiellement utilisés comme charge avec liant. Ils sont issus de roches ignées, sédimentaires, métamorphiques ou fabriqués à partir de laitier de haut-fourneau, etc.

Les granulats forment le corps du béton. Ils occupent 70 à 80 % du volume et ont une influence considérable sur les propriétés du béton. Il est donc très important d'obtenir le bon type et la bonne qualité d'agrégats sur le site. Les granulats sont utilisés en deux tailles nettement différentes - les plus gros connus pour être des granulats grossiers (gravier) et les plus petits des granulats fins (sable). Les granulats grossiers forment la matrice principale du béton et les granulats fins de la matrice de remplissage entre les granulats grossiers.

I-2-Définition

La granulométrie du sable est comprise entre 2 et 4,75 mm, le sable moyen est de 0,425 à 2 mm, et le sable fin est de 0,075 à 0,425 mm

Les grains plus gros donnent au sol sablonneux humide ou sec une texture granuleuse lorsque vous le frottez avec vos doigts, et cela rend le sol léger et friable. La forme des particules est anguleuse, ronde, plate ou allongée, La texture est rugueuse, lisse ou polie.

Le sable est un matériau granulaire constitué de grains minéraux dont la taille varie de 0,063 à 2 mm (Figure I-1). Il est généralement formé de quartz, de feldspath, de mica, de roche

volcanique et d'autres minéraux. Il est utilisé dans une variété d'applications telles que la construction, la fabrication de verre, la production d'électricité et l'industrie pétrolière.

Il existe plusieurs types de sable qui varient selon leur composition minérale, leur forme et leur texture : sable de quartz, sable de silice, sable de plage, sable de dune, sable de rivière.



Figure I-1. La granularité des sables.

I-3-Différents types de sables :

Il existe plusieurs types de sables en fonction de leur origine, de leur composition minéralogique et de leur granulométrie.

I-3-1-Sable de plage

Ce type de sable est constitué de fragments de coquillages, de coraux, de roches et d'autres matériaux qui ont été érodés et transportés par l'eau. Le sable de plage peut avoir une texture fine ou grossière en fonction de la distance parcourue par les matériaux transportés (Figure I-2).

Il est souvent utilisé dans la construction et la fabrication comme matériau abrasif. Il peut également être une source importante de minéraux, tels que le silicium et le titane, qui sont utilisés dans une variété de produits.

L'une des utilisations les plus courantes du sable de plage dans la construction est comme matière première dans la production de béton et d'autres matériaux de construction. En l'utilisant comme sable dans le béton, les constructeurs et les entrepreneurs peuvent créer un matériau solide, et durable, idéal pour une variété de projets de construction.

Le sable de plage est également parfois utilisé comme substitut du sable et du gravier traditionnels dans la construction de routes et d'autres surfaces pavées. Parce qu'il est plus fin et

plus poreux que les autres types de sable, le sable de plage est capable de se compacter plus étroitement, fournissant une base stable pour les routes et autres surfaces pavées. Cela peut aider à réduire la quantité de tassement et de fissuration qui peut se produire au fil du temps, améliorant ainsi la durabilité et la longévité globales de la surface finie.

Le sable de plage est collecté via un processus en deux étapes. La première étape est l'extraction, ensuite, le sable désaffecté ou le sable formé en montagnes est retiré pour constituer un inventaire du sable de plage brut. Le sable extrait est d'abord séparé en différentes tailles de particules avec une maille vibrante. Enfin, le sable de plage produit est traité par des machines spécialisées pour éliminer les corps étrangers tels que les cailloux, les coquillages et les fragments de coquillages. Après traitement, il peut être directement utilisé dans les granulats de construction ou dans la stabilisation des dunes des plages [2].



Figure I-2. Extraction du sable de plage.

I-3-2-Sable de rivière

Ce type de sable (Figure I-3) est formé par l'érosion des roches dans les cours d'eau. Le sable de rivière a une granulométrie plus fine que le sable de plage et est souvent utilisé dans la construction pour fabriquer du béton.

L'extraction excessive de sable de rivière pour l'utiliser comme granulats fin dans le béton est responsable de la dégradation du lit de la rivière, qui cause un large éventail de problèmes, y compris la perte de couches de sol retenant l'eau et le glissement des berges. En outre, les inondations induites par les changements de direction du débit fluvial et l'influence sur la variété biologique sont des dangers importants posés par l'extraction du sable fluvial.

Par conséquent, plusieurs pays suivent des réglementations strictes pour l'extraction du sable de rivière [3].



Figure I-3. Un sac de sable de rivière.

I-3-3-Sable marin

Les dépôts marins du plateau continental peuvent être anciens ou modernes. Les anciens dépôts se sont formés sous des régimes hydrodynamiques et sédimentologiques. Il s'agit de dépôts fluviaux ou littoraux, formés lors des basses mers, induits par les périodes glaciaires. Ces corps sédimentaires sont restés intacts depuis leur formation et sont immobiles dans le contexte des conditions hydrodynamiques dominantes. Les dépôts modernes se sont formés et sont contrôlés par le régime hydrodynamique et sédimentologique actuel. Par conséquent, ils sont liés aux bilans sédimentaires côtiers actuels et à la dynamique des sédiments sur le fond marin. Ces gisements comprennent, exclusivement, des bancs de sable et des champs de lit de sable.

Du fait de leur origine glaciaire, les anciens gisements ont une composition proche de ceux extraits à terre (qui sont leur équivalent en amont), avec une faible teneur en fragments de coquillages. En comparaison, les gisements modernes peuvent contenir une forte concentration de sédiments coquilliers, ce qui affecte la qualité commerciale du gisement. De plus, les granulats marins ont tendance à avoir une teneur en chlorure plus élevée. En tant que tel, certaines objections ont été soulevées quant à leur utilisation, en ce qui concerne les réactions potentielles alcali-silice, qui pourraient affecter le béton, ou l'attaque des chlorures sur les armatures en acier. Cependant, l'expérience et certaines expérimentations ont montré que les sables marins conviennent aussi bien que les granulats de carrières terrestres, à des fins de construction.

La production et l'utilisation des sables marins varient considérablement d'un pays à l'autre, les plus grands producteurs mondiaux étant le Japon, les Pays-Bas, Hong Kong, la Corée et le Royaume-Uni (Figure I-4) [4].

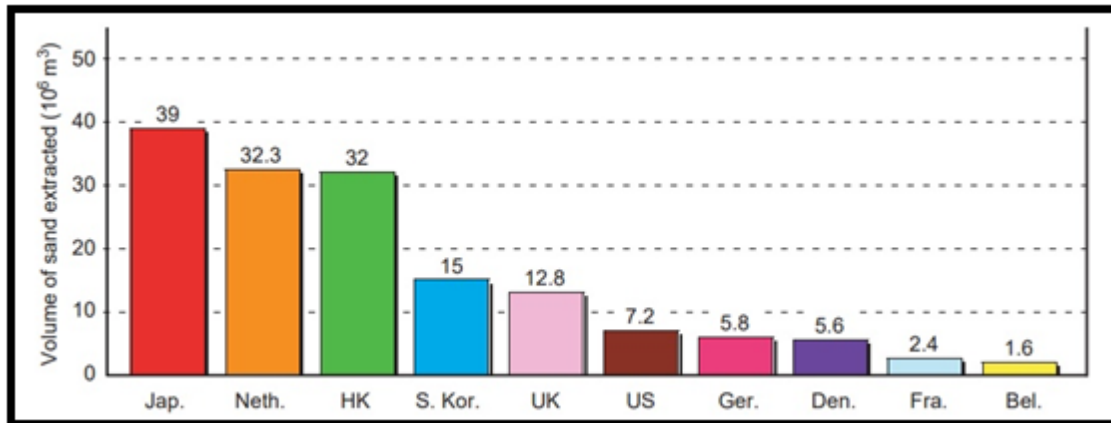


Figure I-4. Les plus grands producteurs des sables marins aux mondes.

I-3-4-Sable du désert

La forme des grains de sable du désert, par rapport aux grains aqueux, est principalement ronde. Il est causé par des effets de transport éolien et varie d'équang sur allongé à floconneux et entre très anguleux et bien arrondi (Figure I-5). Cela affecte la solidarité mécanique entre les granulats et donc la stabilité du mélange ainsi que les propriétés des bétons frais [5].

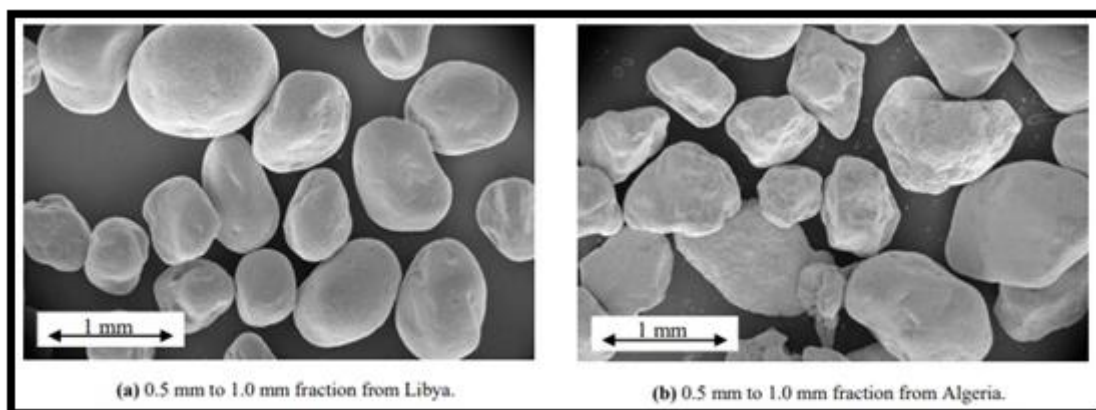


Figure I-5. Analyse en microscopie électronique à balayage environnemental des grains de sable du désert.

I-3-5-Sable de silice

Ce type de sable est principalement composé de silice, qui est un minéral très abondant dans la croûte terrestre. Le sable de silice est utilisé dans l'industrie du verre, des céramiques et de la construction.

Le sable de silice est un matériau granulaire lâche se situant dans la plage de taille de particule spécifiée. Le sable siliceux contient une forte proportion de silice (jusqu'à 99 % de SiO_2) sous forme de quartz et utilisé pour des applications autres que comme agrégat. Ils se présentent à l'état naturel et subissent un traitement considérable avant la vente. Le traitement peut inclure le lavage, le nettoyage des grains, le calibrage pour éliminer les fractions grossières et très fines et un processus physique et chimique pour éliminer le fer, le chrome et d'autres minéraux nocifs [6].

L'ajout de sable de silice dans le béton, réduit la résistance à la flexion, améliore la résistance à la compression et à la traction. Cela était dû au fait que la fine particule de sable agit comme une charge et qu'une partie de la silice active dans le sable réagit avec le ciment et favorise les produits d'hydratation. De même, l'utilisation de 6 % de sable de silice en remplacement du ciment augmente les paramètres de résistance. Au niveau de remplacement de 12 %, le coût du béton a été réduit d'environ 5 % par rapport au béton conventionnel [7].

Il existe également d'autres types de sables tels que le sable de dune, le sable de carrière, le sable volcanique, etc.

I-4- Caractéristiques de sables

I-4-1- Caractéristique géométrique [8]

I-4-1-1- Granulométrie

Un sable est dit fins si plus de 75% des éléments supérieurs à 80 μ m. Ce type de sable doit être corrigés pour avoir des propriétés comparables à celles des graves. Si moins de 20% des éléments sont supérieurs à 2mm et plus de 50% des éléments sont supérieurs à 80 μ m le sable est moyen sont compris entre 0,2 et 2mm. Dans la catégorie du sable grossier, plus de 20% des éléments sont supérieurs à 2mm, ces sables ont des propriétés qui se rapprochent des graves.

I-4-1-2- Module de fines

La finesse d'un granulat, est obtenue en divisant par 100 la somme des pourcentages de refus sur 10 tamis (0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5 - 10 - 20 - 40 - 80 mm). Ce coefficient peut conditionner le calcul du dosage en sable d'une composition de béton.

I-4-2- Caractéristique physicochimique

I-4-2-1- La masse volumique

La masse volumique est absolue lorsque la masse est divisée par unité de volume, elle est généralement exprimée en kg/m³. La masse volumique est dite apparente si la masse totale d'un matériau est divisé par le volume qu'il occupe, y compris les vides et les pores, par conséquent, la masse volumique apparente peut être plus faible que la masse volumique absolue pour les matériaux poreux.

I-4-2-2- Porosité et compacité

La porosité et la compacité sont deux concepts opposés qui sont couramment utilisés pour décrire la structure d'un matériau ou d'un objet. La porosité fait référence à la quantité d'espace vide ou de pores dans un matériau ou un objet. Plus un matériau est poreux, plus il contient d'espace vide ou de petits trous. La compacité, en revanche, fait référence à la densité d'un matériau ou d'un objet. Plus un matériau est compact, plus il est dense et donc moins il contient d'espace vide ou de pores.

I-4-2-3- L'absorption

L'absorption de sable dépend de plusieurs facteurs tels que la taille des grains de sable, la porosité, la compacité, la forme des grains de sable et la présence de matières organiques ou de minéraux dans le sable. En général, les grains de sable plus fins ont une plus grande surface spécifique et une plus grande capacité d'absorption d'eau que les grains de sable plus gros.

I-4-2-4-La teneur en eau

La teneur en eau est la quantité d'eau présente dans un matériau ou un milieu donné. Cette mesure est exprimée en pourcentage ou en fraction du poids ou du volume total du matériau ou du milieu

I-4-2-5-La propreté

La propreté du sable est une caractéristique déterminée par le test d'équivalent sable. Cet essai permet de mesurer la propreté du sable. Il exprime la quantité des éléments fins dans les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui flocculent.

I-4-2-6-Dimensions

Les dimensions du sable peuvent varier en fonction de l'endroit où ont été trouvé et de la nature des matériaux à partir desquels il est formé. En général, les grains de sable sont classés en fonction de leur taille, qui est mesuré en micromètres (μm) ou en millimètres (mm).

I-5-Influence des caractéristiques sur le comportement des bétons

Li et al [9]. Ont testé l'effet de la surface du sable sur la résistance du béton. En utilisant 13 types de sable de différents texture et origine (10 sables industriels ou de carrière, 3 sables de rivière ayant des particules ronds et lisses), ils constatés une augmentation de la résistance à la compression (Figure I-6), la, flexion et à l'abrasion des bétons avec les sables de carrière. Cette amélioration est due à la rugosité de surface des particules de sable de carrière (RS0, MGS, MQS, MLS0, MBS) et les quantités importantes de particules inférieures à $75 \mu\text{m}$ appelées micros fines de roche. Ces derniers agissent comme sites de nucléation pour les produits de réaction d'hydratation du ciment à jeune âge et accélèrent l'hydratation des minéraux cimentaires. Les carboaluminates sont formés par la réaction entre les micros fines calcaires et le C3A, entraînant une amélioration de la résistance. En plus, les micros fines peuvent également améliorer la compacité des particules fines, augmentant ainsi la densité de la matrice pâteuse et de la zone de transition interfaciale dans le béton durci.

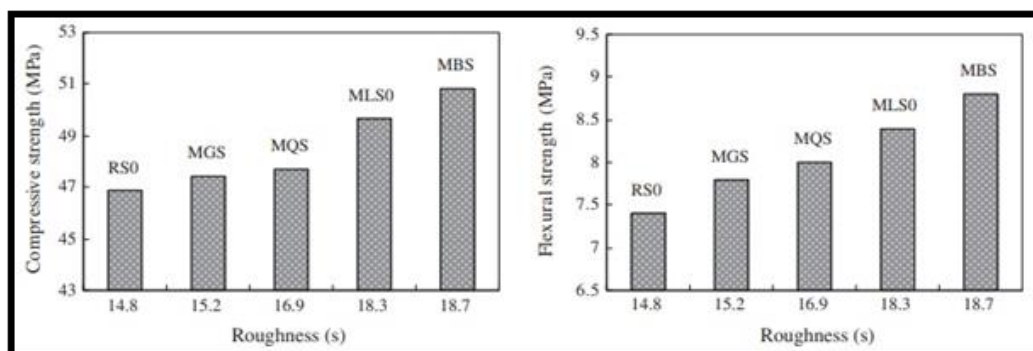


Figure I-6. Relation entre la surface et la résistance à 28 jours selon Li et al.

Dans la même étude Li et al. ont conclu que la résistance à l'abrasion n'a aucune relation avec la quantité de silice présente dans le sable comme le montre la figure I-7, mais plutôt avec la rugosité et le procédé de concassage du sable.

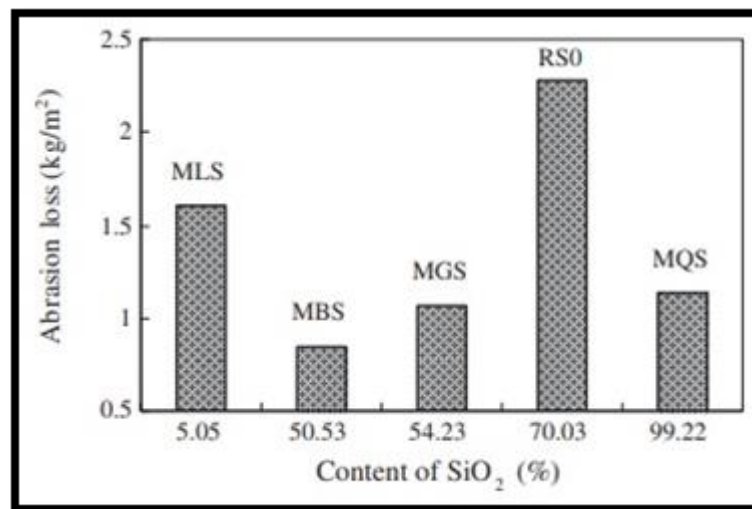


Figure I-7. Relation entre le pourcentage de silice et l'abrasion selon Li et al.

Cette même observation a été constaté par Shen et al [10]. Les sables de carrières ou industriels (MS) présente une forme arrondie et un rapport longueur-largeur plus élevés, et des plages granulométrique plus larges par rapport au sable de rivière (RS). Pour obtenir une maniabilité similaire, la plupart des bétons MS nécessitent un dosage de réducteur d'eau plus élevé que le béton RS. Presque tout le béton MS a une résistance plus élevée que le béton RS avec la même composition de pâte.

Après avoir scanner 100 particules de sables (Figure I-8), Shen et al. Déterminent que la forme des particules, la rugosité de surface et la teneur élevée en poudre en MS, sont les principaux caractères déterminent le comportement du béton avec ses sables. La résistance du béton MS est généralement supérieure à celle du béton RS, suite aux caractéristiques citées (Tableau I-1).

Tableau I-1. Résistance à la compression selon Shen et al.

No	Slump (mm)	Compressive strength (MPa)		
		7 d	28 d	56 d
MSA	190	59.1	70.9	75.5
MSB	180	60.0	75.2	81.0
MSC	170	63.7	76.4	84.2
MSD	195	58.9	71.0	76.8
MSE	165	67.3	72.2	81.1
MSF	175	59.7	70.7	72.3
MSG	180	60.3	70.4	73.6
RS	180	60.5	69.0	73.5

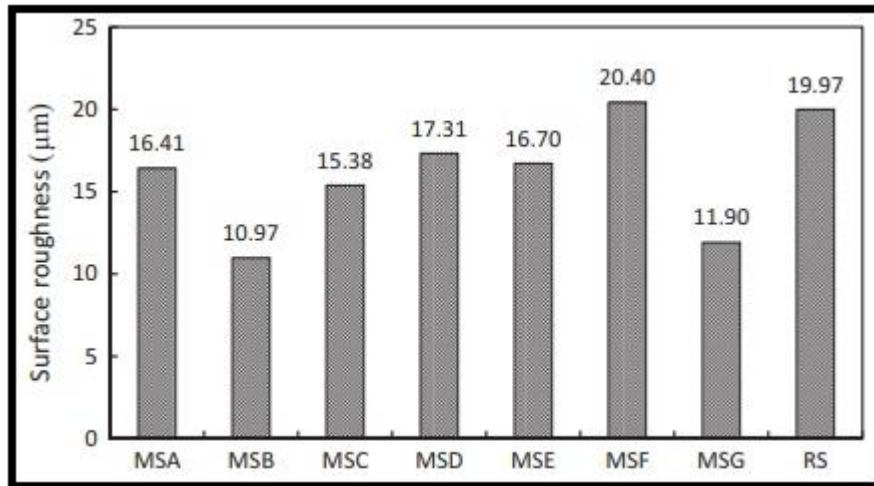


Figure I-8. Rugosité des surfaces de sables étudiés par Shen et al.

Lors de la substitution du sable marin par MS sans l'utilisation d'adjuvant, Pilegis et al [11]. Constatèrent que rapport W/C le plus bas (0.48) pour le sable naturel donné la résistance à la compression la plus élevée à 28 jours, suivi de près par le sable calcaire, de granit, de basalte et de grès. Au même rapport W/C de 0.55, la résistance à la compression de tous les mélanges de sable fabriqués dépassait celle du témoin (Figure I-9), tout en étant comparable à celle du mélange de sable naturel à affaissement contrôlé. De même, la résistance à la flexion de tous les mélanges, à l'exception du mélange G-E, dépassait celle du témoin de sable naturel lorsqu'il était mélangé à un rapport W/C constant. Les résistances à la compression et à la flexion des mélanges de calcaire à un rapport W/C de 0.50 dépassaient ou étaient égales à celles du mélange de sable naturel témoin.

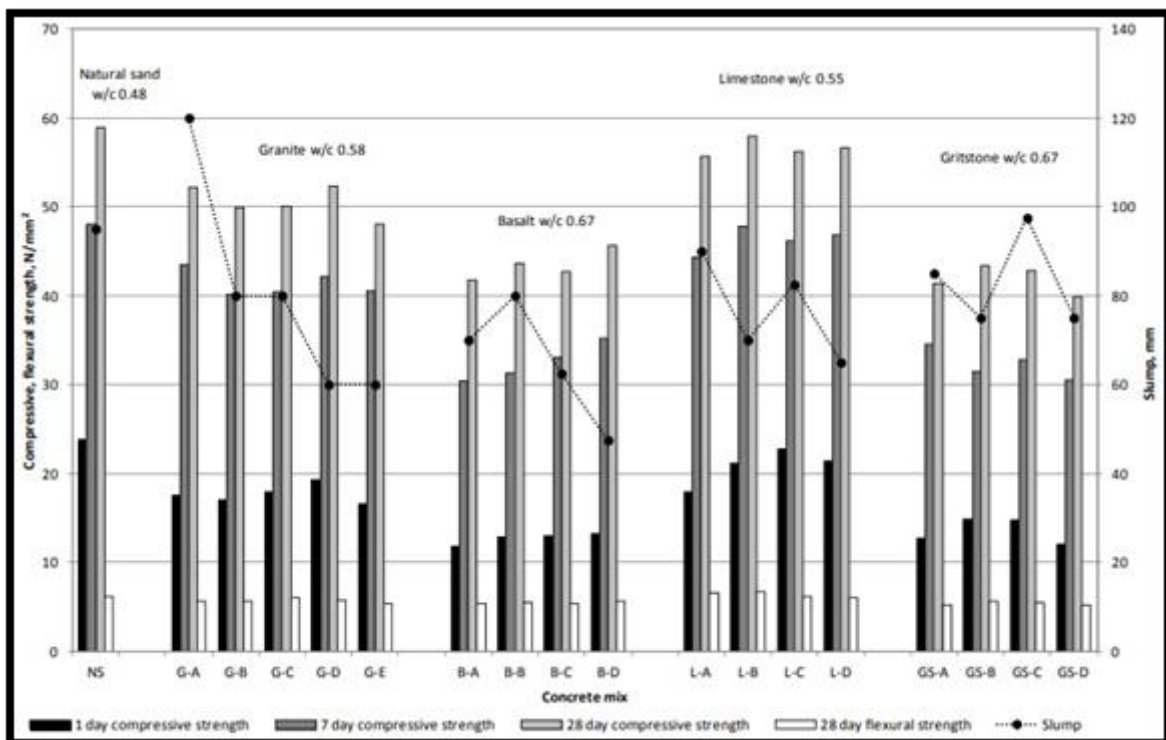


Figure I-9. Affaissement des bétons selon Pilegis et al

Avec un rapport W/C égal à 0.55, la forme angulaire et la texture de surface rugueuse du MS ont contribué à la résistance à la compression et à la flexion du mélange en raison de de l'amélioration de la liaison entre la matrice de ciment et les particules de sable (Figure I-10).

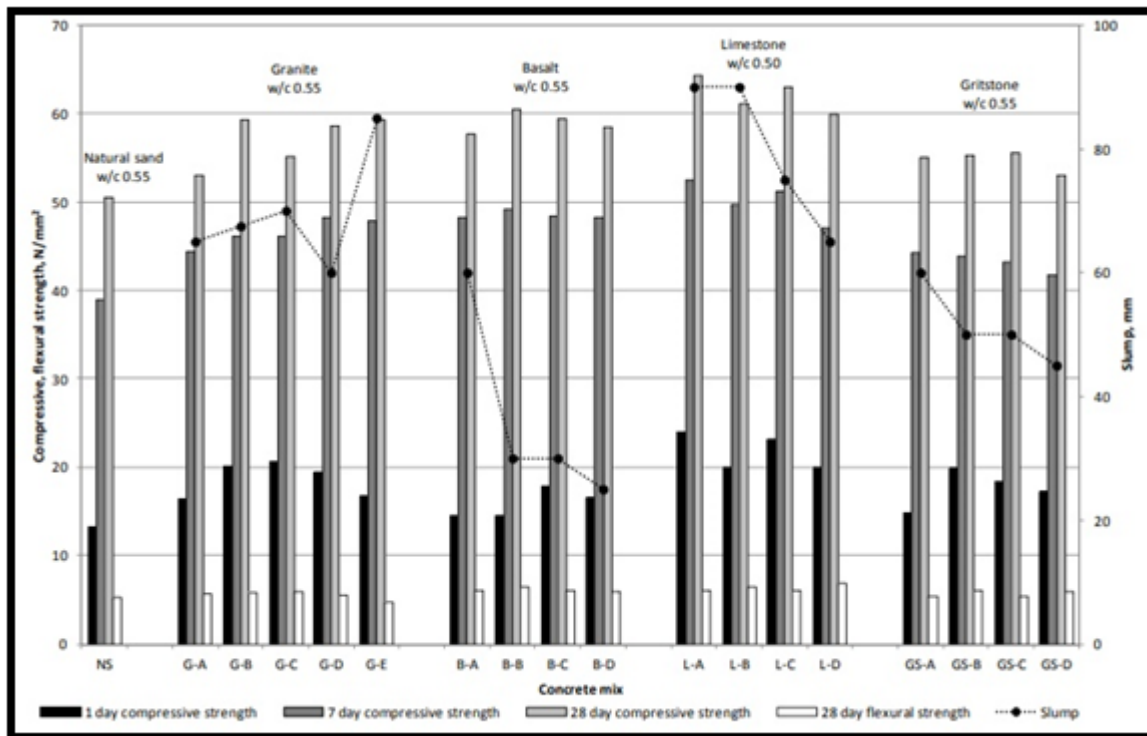


Figure I-10. Résistance à la compression des bétons selon Pilegis et al.

Lors de la comparaison entre sable naturel (NS) et recyclé (RS), Tahar et al [12]. Ont observés une perte d'affaissement importante dans les premières 30 min. La meilleure rhéologie de rétention en fonction du temps est attribuée à 30% de RS. Ceci s'explique par le fait que les RS contiennent une quantité importante de fines. Avec plus de 30% de substitution, la quantité de fines augmente, ce qui a un effet négatif sur la compacité. D'ailleurs le béton avec 100% RS a un mauvais rapport de rhéologie de rétention que les autres bétons.

L'adhérence du mortier au particule de sable et la texture de surface du RS plus poreuse que le sable naturel, induit par conséquent, un coefficient d'absorption d'eau significatif dans le RS. Lorsque la quantité de sable recyclé augmente, elle absorbe beaucoup d'eau de gâchage, donc la maniabilité du béton diminue comme le montre la figure I-11.

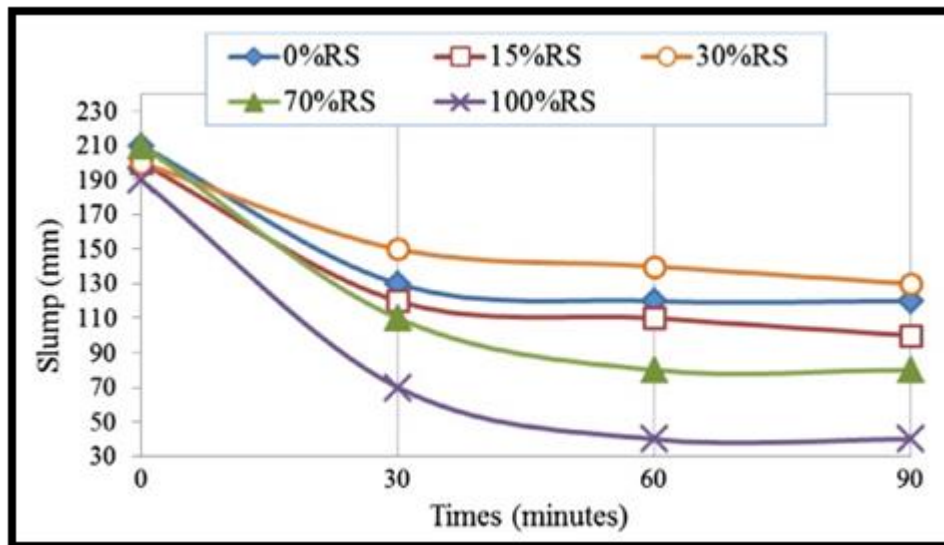


Figure I-11. Variation de l'affaissement pendant 90 minutes selon Tahar et al.

De plus, Zhao et al [13]. Déclarent que l'affaissement des mortiers à base de granulats séchés, est toujours supérieur à l'affaissement des mortiers ayant des granulats saturés (Figure I-12). Dans le cas du sable saturé, l'eau absorbée est initialement présente à l'intérieur de la porosité des particules de sable au début du malaxage (T0) et donc piégée dans les particules de sable. Au contraire, dans le cas du sable séché, la quantité théorique d'eau absorbée est initialement incorporée dans le malaxeur au début du malaxage en plus de l'eau nécessaire pour obtenir le rapport E/C souhaité. Ainsi, l'eau supplémentaire correspondant à la quantité théorique d'eau absorbée induit une augmentation temporaire du rapport E/C efficace initial et du volume de pâte, conduisant à une meilleure maniabilité avant son absorption dans le RS car l'eau n'est pas immédiatement adsorbée dans la pâte de ciment.

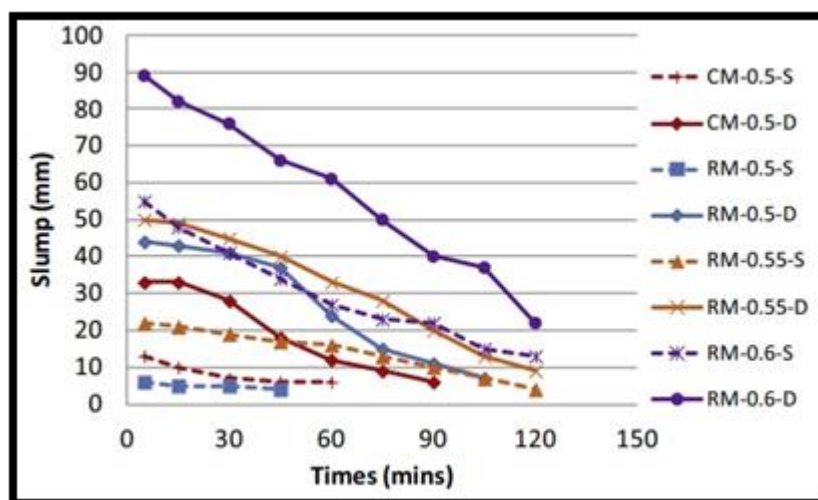


Figure I-12. Variation de l'affaissement pendant 120 minutes selon Zhao et al.

En variant le rapport sable/ciment (S/C) de 2, 2.5 et 3 Heidari et al [14]. Ont étudiés différentes caractéristiques du béton élaboré par incrément de 10% de sable issus des déchets de céramique. Ils trouvèrent qu'en augmentant le remplacement du sable naturel par du sable recyclé,

et du fait de la faiblesse mécanique du dernier, la résistance dans la plupart des cas diminue. Mais à S/C=2.5 le mélange 60% de sable recyclé et 40% de sable naturel eut de bonnes performances et est économique (Figure I-13).

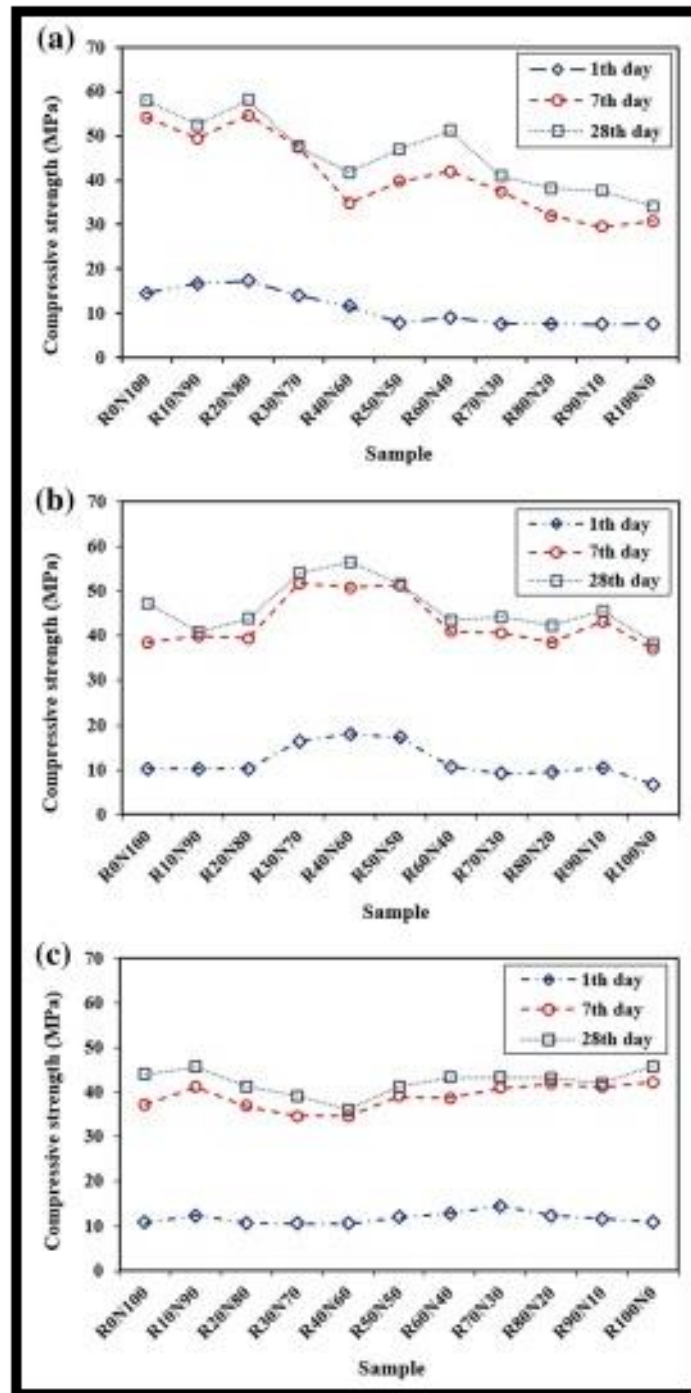


Figure I-13. Variation de la résistance à la compression Heidari et al.

CHAPITRE II

Valorisation des sables recyclés dans le béton

CHAPITRE II

Valorisation des sables recyclés dans le béton

1-Définition

Les définitions des déchets varient selon les pays, mais sont généralement basées sur leur caractère inutile ou indésirable.

En Algérie Selon la Loi n° 2001-19 ; article 3 [15] « un déchet est tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, et plus généralement toute substance, ou produit et tout bien meuble dont le propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer. »

Selon la directive européenne 2008/98/EC [16] « un déchet et toute substance ou tout objet dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire ».

Les déchets sont des matières ou des substances produites par les activités humaines qui sont considérées comme inutiles ou indésirables. Ils peuvent être solide, liquide ou gazeux et leur gestion efficace est devenue un enjeu majeur pour la protection de l'environnement.

Les déchets peuvent être divisés en plusieurs catégories selon leur source et leur composition. Par exemple, les ordures ménagères sont les déchets générés par le ménage tels que les emballages alimentaires, les papiers et cartons, les déchets de jardin, les textiles usagés, les appareils électroniques et électroménagers, etc. D'autre part, les déchets industriels sont des déchets générés par les entreprises et les industries tels que les déchets de production, les résidus de combustion, les huiles usées, etc.

2-Différent type des déchets

En Algérie, selon la loi n° 2001-19 ; article 3, plusieurs types de déchet sont mentionnés.

2-1-Déchets ménagers et assimilés

Ce genre de déchet est issu des ménages ainsi que les déchets similaires provenant des activités industrielles, commerciales, artisanales et autres qui, par leur nature et leur composition, sont assimilables aux déchets ménagers.

L'enfouissement de ce type de déchets reste la méthode la plus privilégiée en Algérie à cause du taux excessif d'humidité qu'ils recèlent, et la non maîtrise d'autres filières comme l'incinération ou le compostage.

Le taux d'humidité des déchets ménagers et assimilés produits en Algérie, toutes régions confondues, reste assez élevé en comparaison avec les pays développés (Figure II-1) [17].

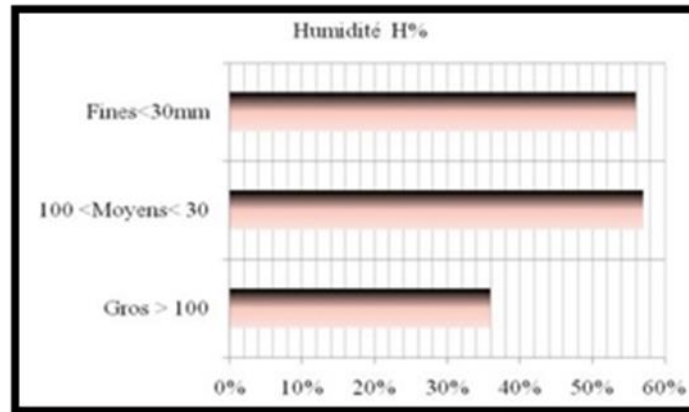


Figure II-1. Taux d'humidité dans les déchets ménagers et assimilés.

Selon l'Algérie Presse service dans son article apparu le 21 janvier 2023 [18]. Il estime que les habitants de la capitale ont produit plus de 672000 tonnes de déchets ménagers et assimilés en 2022, soit une moyenne de 1841 tonnes/jours.

2-2-Déchets encombrants

Ce sont tous les déchets issus des ménages qui en raison de leur caractère volumineux ne peuvent être collectés dans les mêmes conditions que les déchets ménagers et assimilés.

Dans l'étude de Chaouch et al [19]. en 2007 conduite dans le golf d'Annaba, ils constataient une prédominance du verre généralement de bouteilles. Les déchets en verre représentent 32.84% des déchets rassemblés pendant l'année 2006. En deuxième catégorie les métaux représentent 32.53%, il s'agit principalement de canettes de boissons (Figure II-2).

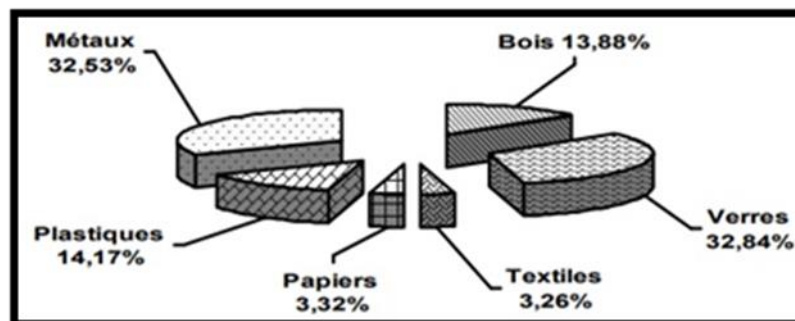


Figure II-2. Distribution des déchets encombrants sur les plages du golf d'Annaba.

2-3-Déchets spéciaux

Lorsqu'un déchet est issu des activités industrielles, agricoles, de soins, de services et toutes autres activités qui, en raison de leur nature et de la composition des matières qu'ils contiennent, ne peuvent être collectés, transportés et traités dans les mêmes conditions que les déchets ménagers et assimilés et les déchets inertes, sont appelé déchets spéciaux.

Selon le journal El-Moudjahid [20], l'Algérie enregistre annuellement 325 000 tonnes de déchets spéciaux. Le pays enregistre annuellement 65.000 tonnes/an de déchets de batteries

utilisées, valorisées à 100 %. Elle enregistre également 249.000 tonnes/an de déchets pneumatiques, dont 4% sont valorisés, soit l'équivalent de 9600 tonnes annuellement.

2-4-Déchets spéciaux dangereux

En appelles déchets spéciaux qui, par leurs constituants ou par les caractéristiques des matières nocives qu'ils contiennent, sont susceptibles de nuire à la santé publique et/ou à l'environnement.

2-5-Déchets d'activité de soins

Tous déchets issus des activités de diagnostic, de suivi et de traitement préventif ou curatif, dans les domaines de la médecine humaine et vétérinaire.

2-6-Déchets inertes

C'est tous les déchets provenant de l'exploitation des carrières, des mines, des travaux de démolition, de construction ou de rénovation, qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique lors de leur mise en décharge, et qui ne sont pas contaminés par des substances dangereuses ou autres éléments générateurs de nuisances, susceptibles de nuire à la santé et/ou à l'environnement.

3-Gestion des déchets

La gestion des déchets est un ensemble d'actions visant à collecter, transporter, traiter, recycler ou éliminer les déchets générés par les activités humaines, dans le respect de l'environnement et de la santé publique.

La gestion des déchets implique plusieurs étapes clés ;

3-1-La Collecte

Cela permet aux déchets d'être collectés localement et transportés vers un site d'élimination, de valorisation, de traitement ou de stockage (Figure II-3) .



Figure II-3. Collecte des déchets par camion à benne-tasseuse.

3-2-Le traitement

Il existe plusieurs méthodes de traitement des déchets, telles que le recyclage, la valorisation énergétique ou l'élimination en décharge.

En 2002, le recyclage des déchets solides en Algérie, ne représentait que 2% est passé à 4-5 % en 2009. En 2004, on enregistrait 57% de déchets déposés dans les décharges sauvages, 30% dans des décharges publiques non contrôlée, 10% dans les CET, 2% orienté vers le recyclage et 1% pour le compostage (Figure II-4). En 2014 on enregistrait un net progrès dans le traitement des déchets avec l'augmentation du taux de recyclage et une baisse dans le déversement en décharge [21].

La stratégie nationale de la gestion intégrée des déchets 2035 vise une société zéro déchet. Les produits les plus recherchés dans le cadre de la récupération sont essentiellement le plastique, le papier carton, les métaux ferreux et non ferreux et, dans une moindre mesure, le verre.

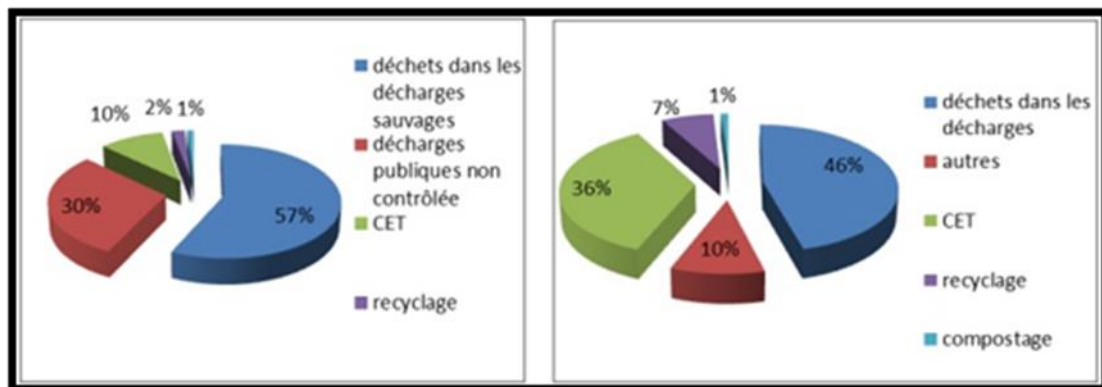


Figure II-4. Le traitement des déchets en 2004 à gauche et en 2014 à droite.

3-3-La valorisation

Elle permet de réutiliser les déchets comme matières premières ou sources d'énergie. En Azerbaïdjan comme exemple, entre décembre 2012 et janvier 2020, l'usine de valorisation des déchets installée à Bakou la capitale a traité thermiquement 3 281 343 tonnes de déchets domestiques, et exporté 1 015 800 MWh d'électricité vers le réseau national. En 2020, 80% des déchets domestiques de Bakou sont thermiquement traités et triés conformément aux directives de l'Union européenne (UE) en matière d'environnement. L'usine permet ainsi de satisfaire les besoins en électricité de plus de 50 000 habitants [22].

La gestion des déchets est une problématique complexe qui nécessite une approche intégrée et collaborative entre les acteurs locaux, les gouvernements et la société civile pour assurer un avenir durable.

4-Les déchets en génie civil

Les déchets de génie civil sont des matériaux générés lors de la construction, de la rénovation ou de la démolition de bâtiments, d'infrastructures et de routes. Ces déchets peuvent

inclure des matériaux de construction tels que le béton, la brique, l'asphalte, le bois, le métal, le verre, le plâtre et le plastique.

La gestion des déchets de génie civil est un enjeu important car ces déchets peuvent avoir un impact important sur l'environnement. Les déchets de construction peuvent contaminer le sol et les cours d'eau s'ils ne sont pas manipulés correctement.

4-1-Valorisation des déchets en matériaux de construction

4-1-1-Laitier de haut fourneau granulé broyé

C'est un sous-produit principal produit par les productions d'acier et de fer. Le four fonctionne généralement à une température de 1500°C. Le haut-fourneau est alimenté par une combinaison soigneusement réglée de calcaire, de minerai de fer et de coke. Lorsque le laitier du haut fourneau est fondu, il est rapidement refroidi par de puissants jets d'eau qui le transforment en laitier granulé, une substance fine, granuleuse et vitreuse.

La production mondiale de ce type est d'environ 530 millions de tonnes, dont seulement 65 % sont utilisés par le secteur du bâtiment. Il se compose principalement de silicate et d'aluminosilicate de calcium fondu.

Les laitiers granulé peuvent réduire considérablement la chaleur nécessaire à l'hydratation du ciment et l'élévation adiabatique de la température du béton (Figure II-5). Les grosses particules de laitier, cependant, manquent de nombreuses propriétés cimentaires, et leurs interfaces avec les gels de silicate de calcium hydraté sont des points de défaillance potentiels. De plus, la présence de beaucoup de laitier tend à donner à la pâte durcie une structure poreuse plus grossière, ce qui réduit la résistance et la longévité du béton [23].

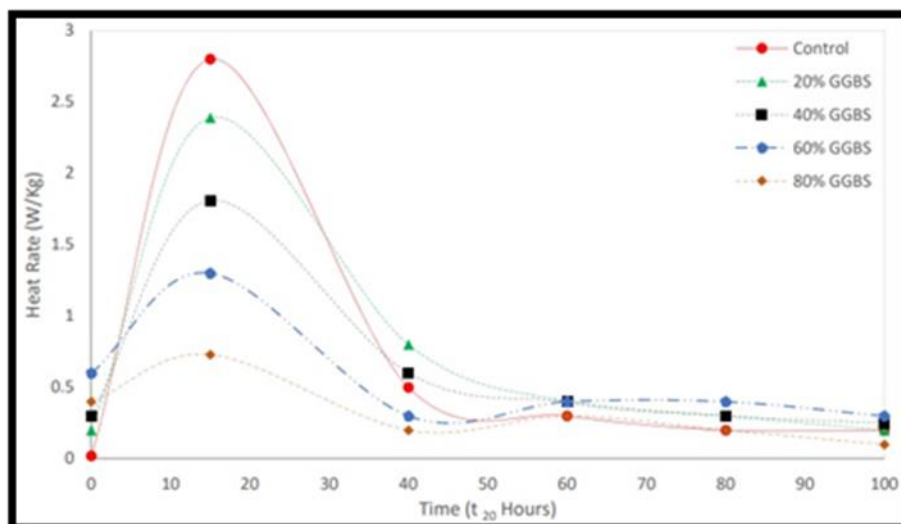


Figure II-5. Chaleur d'hydratation d'un béton avec et sans laitier.

4-1-2-Le Verre

Le verre est un silicate complexe c'est à dire un réseau irrégulier de silice (sable) auquel on ajoute des agents modificateurs. Chaque type de verre (creux, plat et technique) a un mode d'élaboration différent. Cependant, on relève cinq grandes étapes dans le cycle de fabrication du

verre : Préparation du lit de fusion, élaboration du verre, mise en forme, recuisson, contrôles de qualité des produits finis (Figure II-6) .

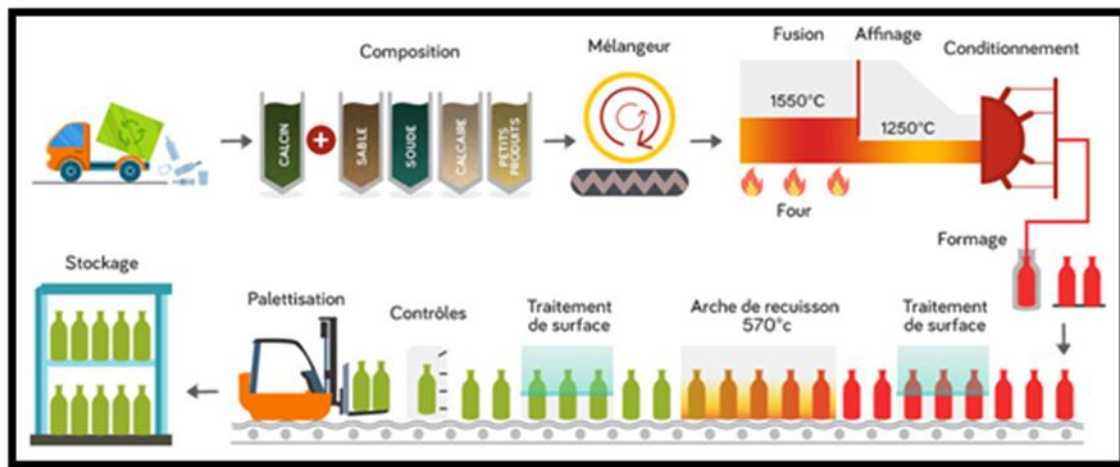


Figure II-6. Processus de fabrication du verre.

L'influence du verre sur la résistance à la compression du béton résulte d'effets concurrents [24]. D'une part, les particules de verre ont tendance à augmenter la résistance à la compression en raison de l'effet filler. Remplacer partiellement le ciment par des particules de verre plus fines que le ciment augmente le rapport surface/volume et fournit plus de sites d'hydratation pour la précipitation des produits d'hydratation du ciment, accélérant ainsi le taux d'hydratation et produisant plus d'hydrates pour améliorer la résistance à la compression. En plus, le verre est une silice amorphe qui peut réagir avec l'hydroxyde de calcium et produire un gel de silicate de calcium (CSH), augmentant encore la résistance à la compression. Ceci est connu sous le nom d'effet pouzzolanique, qui a tendance à aider à affiner la microstructure du béton, comme illustré à la Figure II-7.

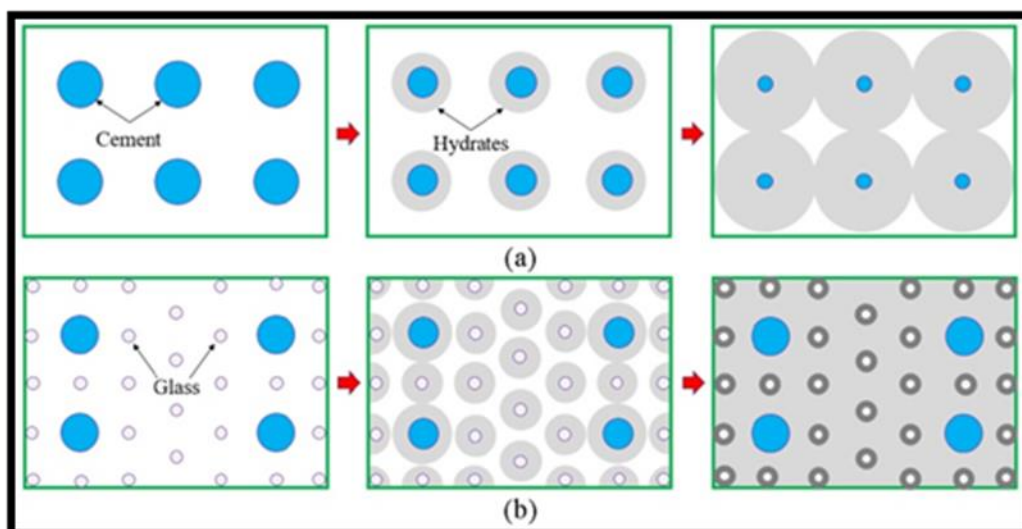


Figure II-7. Effet de l'utilisation de fines particules de verre sur la microstructure du béton.

4-1-3-Les Pneus usagés

Un pneu est un assemblage assez complexe de divers éléments. Plusieurs étapes de fabrication sont nécessaires. Les industriels du milieu font appel à plus de 200 matières premières pour fabriquer un pneu. Les pneus usagés peuvent être recyclés et utilisés comme écrans antibruit et matériaux de remplissage pour les terrains de sport. Ils peuvent également être utilisés dans la construction de routes en caoutchouc.

Les déchets de pneus, sont généralement classés en pneus d'automobile et de camion. La plupart des pneus provenant de diverses sources ont des propriétés physiques et des compositions différentes. Ainsi, ils ont un effet différent sur la résistance du béton lorsqu'ils sont utilisés. Les ingrédients communs du pneu sont les caoutchoucs naturels et synthétiques, le noir de carbone, le métal, le tissu textile et les additifs.

Le béton à pneus usagés, a une maniabilité inférieure à celle du ciment portland. La valeur d'affaissement de diminue avec l'augmentation du pourcentage ou du remplacement des agrégats par du caoutchouc. La réduction de l'ouvrabilité peut être principalement attribuée à la plus grande capacité d'absorption d'eau du caoutchouc par rapport à celle du sable, tandis que la faible valeur d'affaissement peut être attribuée à la petite taille des particules du déchet. L'ouvrabilité augmente avec la surface spécifique élevée des constituants du. Cette constatation est plus prononcée pour la forte rugosité. Parce que la surface rugueuse du pneu usagé provoque le frottement croissant des particules dans le béton et réacquiert plus d'énergie pour s'écouler. Par conséquent, pour obtenir une ouvrabilité similaire, les besoins en eau dans le béton à pneus usagés sont plus élevés que dans le ciment portland (Figure II-8) .

Les pneus usagés ont une densité inférieure à celle des granulats naturels, et le remplacement des granulats naturels peut réduire la densité du béton. La très faible adhérence entre le caoutchouc et la pâte de ciment dans le béton peut également expliquer la réduction de densité étant donné que le caoutchouc agit comme un vide dans la matrice du béton qui augmente sa porosité, entraînant ainsi un faible poids unitaire. L'augmentation de la teneur en pneus usagés correspond à la réduction du poids unitaire du béton [25].

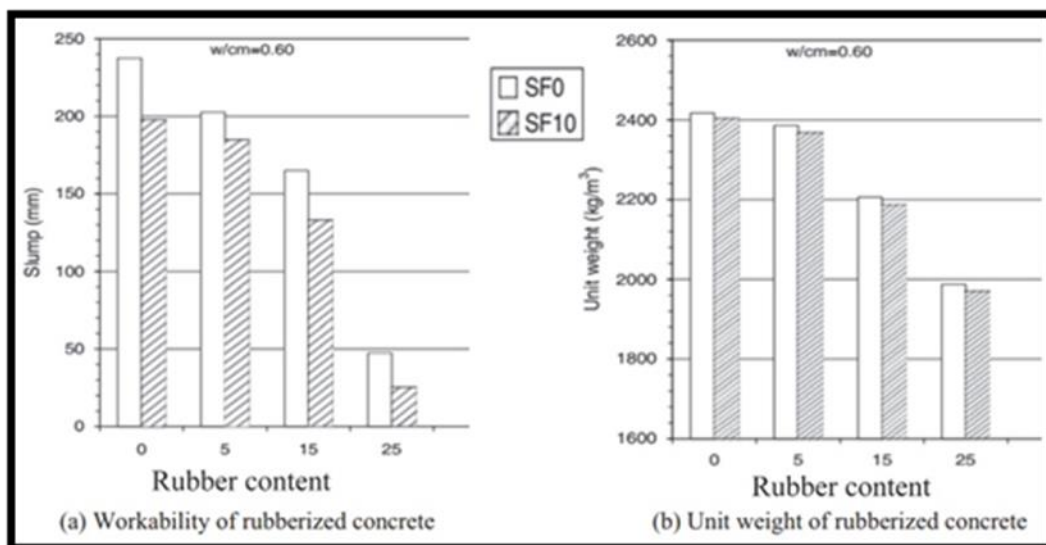


Figure II-8. Effet du caoutchouc des pneus usagés sur l'ouvrabilité et la masse volumique du béton. SF ; fumée de silice

4-1-4-La boue de papeterie

L'industrie du papier produit des quantités considérables de boues, dont la mise en décharge a été le moyen d'élimination le plus simple et le moins coûteux.

A l'état brut, les boues de papeteries constituées principalement de kaolinite, calcite, talc avec présence de quartz et de muscovite. La transformation des boues de papeterie en pouzzolanes, dans l'industrie des matériaux de construction consiste à lui appliquer un traitement thermique approprié pour éliminer les matières organiques et transformer la kaolinite en métakaolin.

Comme exemple [26], un liant hydraulique constitué de 75 % de ciment Portland et 25 % de cendres de boues calcinées à 650°C, 700°C, 750°C ou 800°C sont comparés aux mortiers de référence dont le liant hydraulique est à 100% de ciment Portland (Figure II-9). A 28 jours, les mortiers modifiés présentent une légère augmentation de la résistance à la compression par rapport au mortier de référence. La même observation est remarquée à 90 jours.

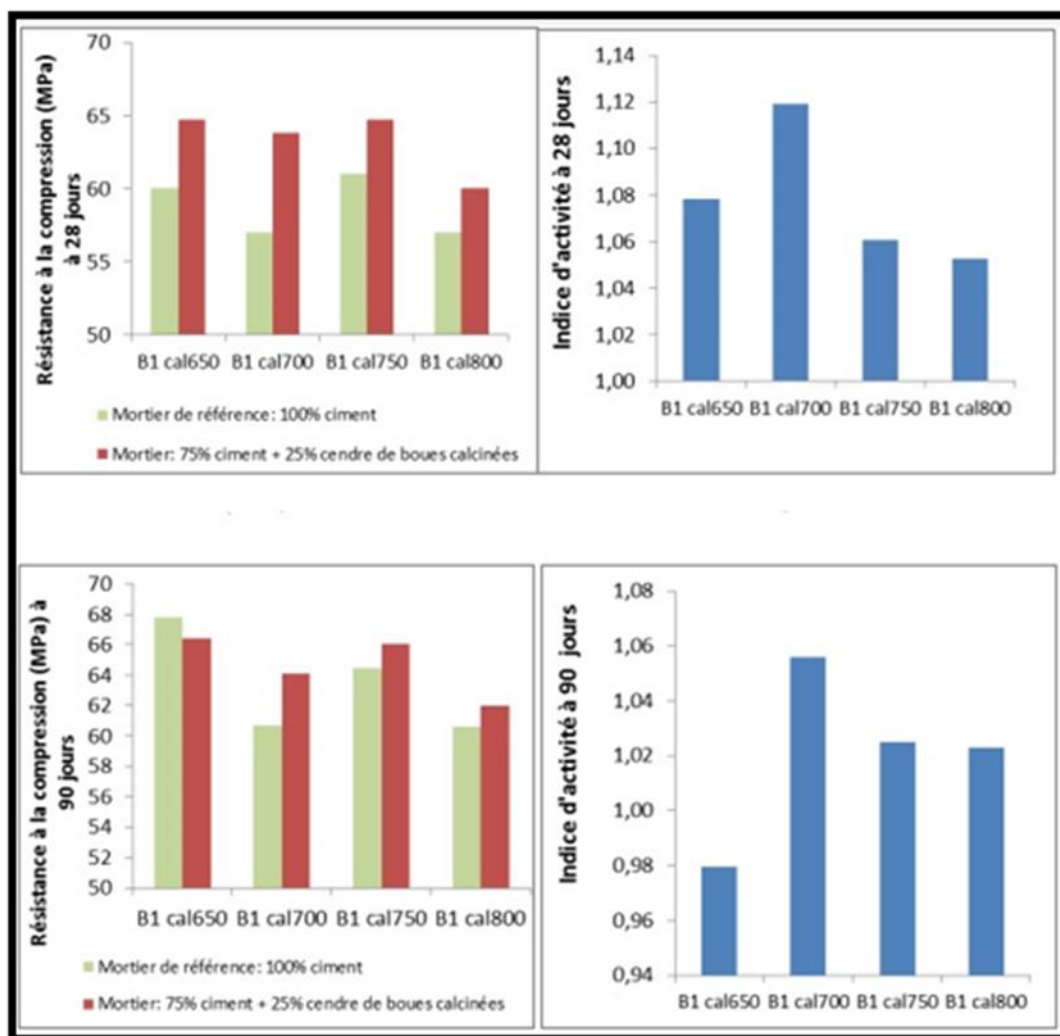


Figure II-9. Résistance à la compression et indice d'activité d'un ciment modifié par la boue de papeterie.

5-Les déchets de céramique

Les déchets de céramique (Figure II-10) se réfèrent aux résidus et aux débris issus de la production, de l'utilisation et de la destruction de la céramique. Les déchets de céramique peuvent inclure des éclats, des morceaux cassés de vaisselle, des fragments de carreaux de sol ou de mur, des débris de poterie, des résidus de production et des matériaux non utilisés [27].



Figure II-10. Les déchets de céramique sanitaire.

5-1-Définition

La céramique est un matériau solide et durable qui peut prendre des siècles pour se décomposer naturellement. Les déchets de céramique peuvent être difficiles à recycler en raison de leur composition et de leur forme. Cependant, certaines entreprises peuvent récupérer les déchets de céramique pour les réutiliser dans la production de nouveaux matériaux céramiques, tels que des carreaux ou de la porcelaine.

Il est important de disposer correctement des déchets de céramique pour éviter les impacts environnementaux négatifs. Les déchets de céramique doivent être séparés des autres déchets et déposés dans des conteneurs spécifiques pour les matériaux de construction. Dans certains cas, les déchets de céramique peuvent être jetés dans des sites de décharge, mais cela doit être fait conformément aux réglementations environnementales locales [28].

5-2-Composition de céramique sanitaire

Les céramiques sanitaires sont des matériaux qui sont utilisés pour la fabrication de produits tels que les lavabos, les toilettes, les urinoirs et les baignoires. Ils sont choisis pour leur résistance à l'eau et leur durabilité.

La composition typique des céramiques sanitaires comprend :

**L'argile* : C'est l'un des principaux composants des céramiques sanitaires. Il est utilisé comme matière première pour la fabrication de la céramique et assure la résistance mécanique de l'objet.

**La frite* : C'est une poudre qui est ajoutée à l'argile pour augmenter la solidité de la céramique. Elle est fabriquée à partir de minéraux tels que le quartz et le feldspath.

**Le kaolin* : C'est une argile blanche et fine qui est utilisée pour la fabrication de porcelaine sanitaire. Il est mélangé à l'argile pour augmenter la blancheur de la céramique.

**La silice* : qui est un composant important pour la résistance de la céramique à la chaleur. Elle est ajoutée en quantité variable en fonction de la composition de la céramique.

**Les Oxydes métalliques* : Tels que le fer, le cuivre, le manganèse et le cobalt sont ajoutés à la céramique pour donner des couleurs et des motifs différents

En plus de ces composants de base, d'autres matériaux tels que des pigments, des agents de durcissement et des agents de façonnage sont également utilisés pour la fabrication de la céramique sanitaire [29].

5-3-Fabrication de céramique sanitaire

La fabrication de céramique sanitaire est un processus complexe qui implique plusieurs étapes importantes. Voici les principales étapes de la fabrication de céramique sanitaire :

**Préparation de la pâte* : La première étape consiste à préparer une pâte à base d'argile, de kaolin, de feldspath et d'autres matières premières. Cette pâte est mélangée avec de l'eau pour former une suspension homogène.

**Le coulage* : La pâte est ensuite coulée dans des moules en plâtre qui ont la forme de la pièce de céramique sanitaire à fabriquer. Les moules sont soigneusement conçus pour permettre le retrait de la pièce de céramique une fois que la pâte a séché.

**Le séchage* : Après le coulage, la pièce de céramique est retirée du moule et placée dans un endroit sec pour sécher lentement. Cette étape est cruciale pour éviter les fissures et les cassures dans la pièce de céramique.

**La finition* : Une fois que la pièce de céramique est sèche, elle est poncée et polie pour éliminer les irrégularités et les imperfections.

**La cuisson* : La pièce de céramique est ensuite cuite dans un four à haute température pour la rendre dure et durable. Cette étape est appelée "biscuitage" ou "cuisson biscuit". Après la cuisson biscuit, la pièce de céramique est émaillée, puis cuite à nouveau dans un four à haute température pour créer une surface lisse et brillante.

**Le contrôle qualité* : Enfin, la pièce de céramique subit une inspection minutieuse pour s'assurer qu'elle est conforme aux normes de qualité et de sécurité. Si la pièce ne répond pas aux exigences, elle est rejetée et envoyée pour être recyclée.

Ces étapes (Figure II-11) peuvent varier en fonction de la complexité de la pièce de céramique à fabriquer et des exigences spécifiques du fabricant [30].



Figure II-11. Procédé général de fabrication des céramiques.

5-4-Déchets céramique sanitaire

Les déchets de céramique sanitaire (Figure II-12), tels que les toilettes, les éviers et les baignoires, peuvent être difficiles à recycler en raison de leur composition en argile cuite à haute température. Cependant, il existe des solutions pour leur gestion responsable.

Les entreprises de recyclage peuvent accepter certains types de céramique pour le broyage et la réutilisation dans des produits tels que les pavés ou les matériaux de construction. Les déchets de céramique sanitaire peuvent également être utilisés dans les projets de remblaiement pour les travaux routiers.

Enfin, si le recyclage n'est pas possible, il est important de disposer des déchets de céramique sanitaire de manière sûre et écologique.



Figure II-12. Les déchets de céramique sanitaire.

Cependant, il est crucial de s'assurer de la qualité des déchets céramiques avant de les intégrer dans le mélange de béton. En effet, la présence de contaminants tels que les métaux, les plastiques et les matériaux organiques peut affecter les propriétés mécaniques du béton et réduire sa durabilité. Les déchets céramiques doivent donc être triés soigneusement avant leur utilisation.

Le tri des déchets céramiques implique une inspection minutieuse pour éliminer tout matériau étranger qui pourrait affecter la qualité du béton. Les déchets céramiques doivent être nettoyés et séchés pour éliminer toute trace de saleté et d'humidité. Les fragments cassés ou endommagés doivent également être retirés, car ils peuvent affaiblir la structure du béton.

Une fois triés, les déchets céramiques doivent être mélangés avec les autres composants du béton, tels que le ciment, l'eau et les agrégats. Les proportions de chaque composant doivent être soigneusement calculées pour garantir la qualité et la résistance du béton.

Enfin, il est important de noter que l'utilisation de déchets céramiques dans la fabrication de béton peut avoir un impact positif sur l'environnement. Non seulement cela permet de réduire les déchets, mais cela peut également réduire les émissions de CO₂ liées à la production de béton traditionnel. Cependant, cela ne doit pas se faire au détriment de la qualité et de la sécurité du béton. Le tri minutieux des déchets céramiques est donc essentiel pour garantir un béton de qualité supérieure [31].

6-Les déchets céramique sanitaire dans le béton

Lors de la production de céramique, 30% du matériau part en déchets, et ils ne sont pas utilisés de manière bénéfique. L'une des voies innovatrices de valorisation de ces déchets et leurs utilisations comme sable dans les matériaux cimentaires. Les granulats constituent environ 70 % du total des constituants dans la production de béton. De nombreux chercheurs ont identifié la céramique comme ayant un potentiel de remplacer les granulats fins.

Parmi ces chercheurs Awoyera et al [32]. qui constatés une réduction de l'affaissement lorsqu'ils remplacés un sable naturel de rivière à hauteur de 25, 50, 75 et 100 %, par un sable issu de déchets céramiques (Figure II-13). Ce faible affaissement est attribué à la glaçure de surface des déchets céramique, qui ne se lie pas bien avec les autres matériaux du mélange.

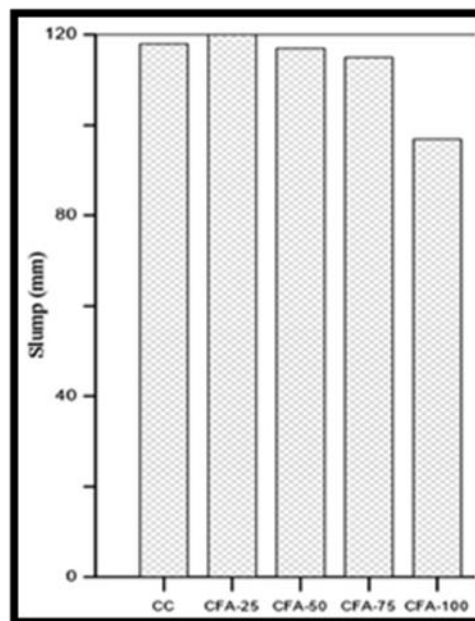


Figure II-13. Affaissement des bétons selon Awoyera et al.

Awoyera et al. ont suivis également le développement de la résistance à la compression des bétons. Ils constatés deux temps (Figure II-14) : entre 3 et 7 jours de durcissement la résistance du béton témoin furent supérieure et au-delà du 14^{ème} l'inverse s'est produit. Cette différence de temps est dû à l'influence de l'absorption d'eau élevée de la céramique et la précipitation des produits cimentaires sur les microparticules de céramique d'où une activité pouzzolanique accrue.

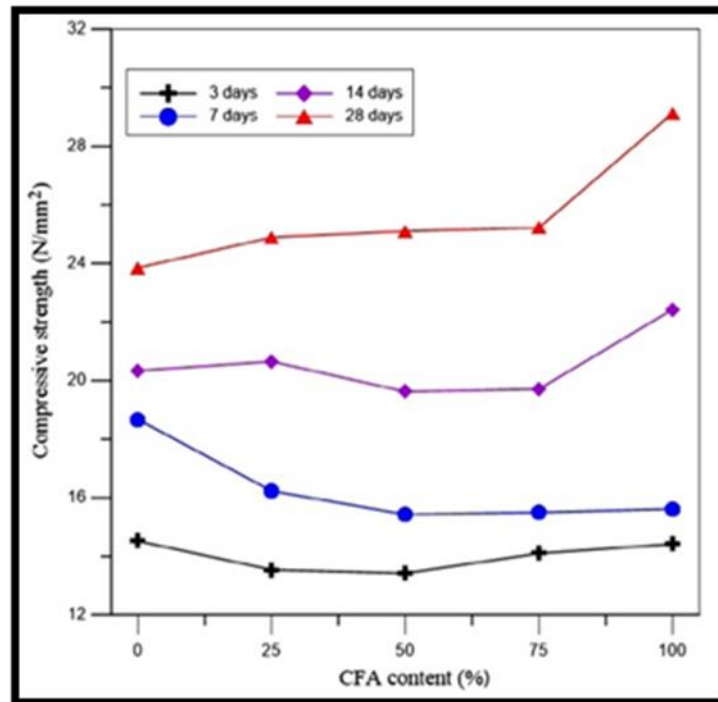


Figure II-14. Résistance à la compression pour les bétons à sable céramique selon Awoyera et al.

Siddique et al [33]. ont formulés la même remarque concernant l'ouvrabilité des bétons avec déchets céramiques. Le dosage requis du superplastifiant augmenté avec l'augmentation du pourcentage de substitution du sable par le sable céramique.

Après l'incorporation du déchet céramique comme sable, il avait une augmentation des particules fines, ce qui a entraîné une augmentation de la surface, entraînant une diminution de la maniabilité. En plus, la forte absorption d'eau par les particules de céramique a été compensée par l'ajout d'eau supplémentaire à chaque mélange.

Les pores fermés et semi-fermés, tels qu'observés dans la microstructure de sable céramique, ont entraîné l'absorption d'eau, donc une réduction de l'eau libre pour l'hydratation du ciment (Figure II-15).

En plus, les particules de déchets sont de forme angulaire et irrégulière et ont une texture rugueuse, ce qui provoque une friction accrue qui limite la maniabilité du mélange de béton frais. Ceux-ci entraînent une augmentation de la teneur en pâte nécessaire pour couvrir la surface de sable céramique, ce qui rend difficile l'obtention de la maniabilité souhaitée.

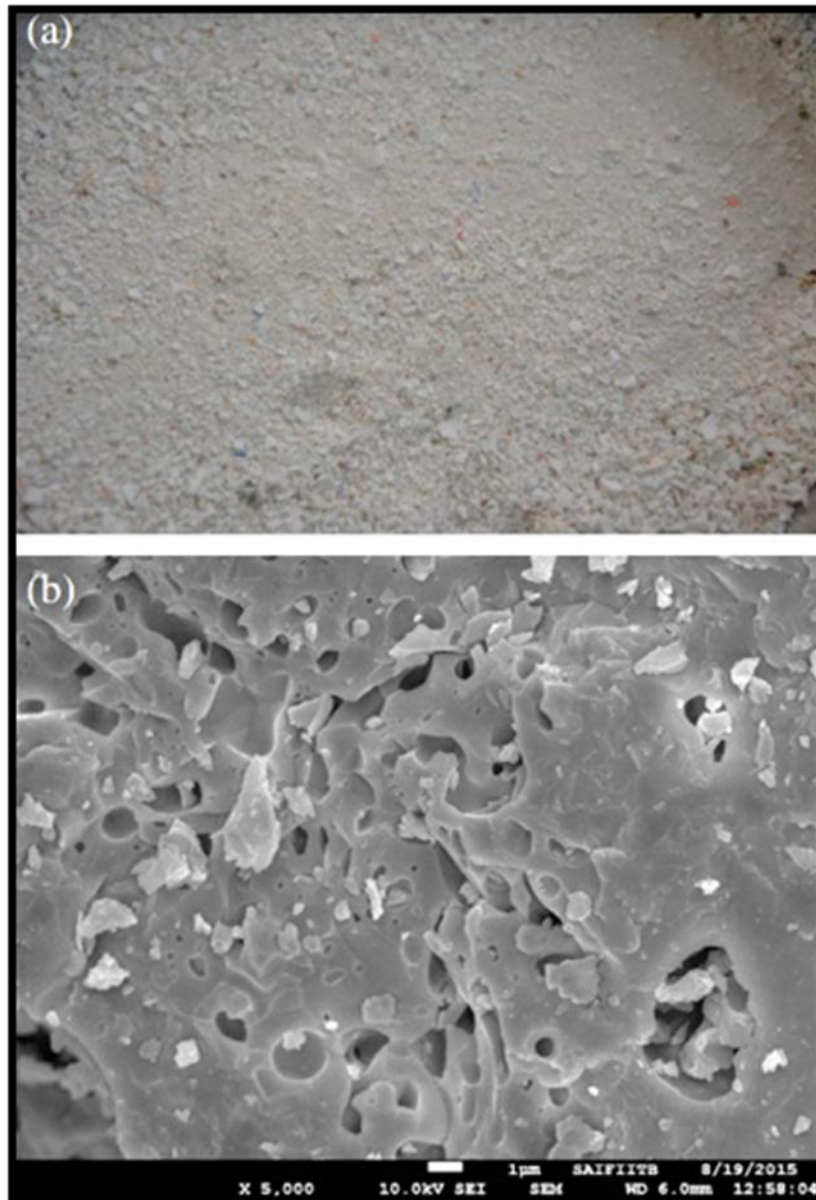


Figure II-15. Sable céramique (en haut) Microstructure d'une particule (en bas) selon Siddique et al.

Idem pour la résistance à la compression, Siddique et al. ont observé une augmentation à 28 jours de cure des résistances des bétons avec sable céramique pour les trois rapport E/C. Ils attribuent cette augmentation au fait qu'un pourcentage plus élevé de particules fines dans le sable céramique a agi comme un filler pour fournir une matrice dense, entraînant une augmentation de la résistance à la compression (Figure II-16).

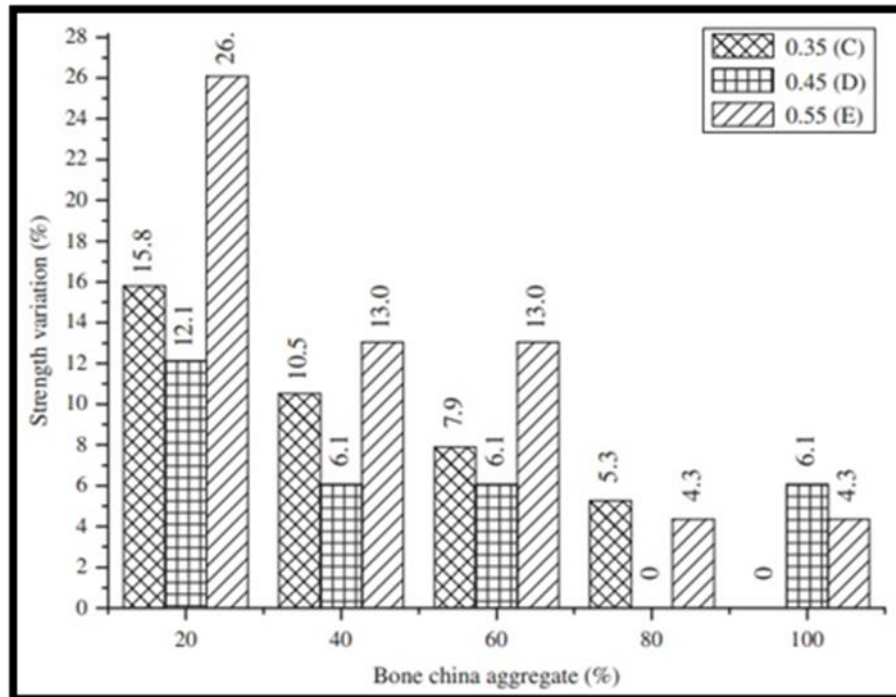


Figure II-16. Résistance à la compression à 28 jours des bétons selon Siddique et al.

En analysant la zone d'interaction pâte/granulats (ITZ) Zegardlo et al [34]. ont remarqués que cette zone est lisse et plate lorsque le granulat est de type basalte. Il n'y a pas de pores ou/et de dépressions visibles qui peuvent augmenter la surface de contact et permettre la pénétration de la pâte de ciment dans le granulat. Lorsque le granulat est céramique, la microstructure du granulat céramique est ouverte - à la surface du grain, des micropores sont visibles-. La surface est beaucoup plus développée que dans les grains de basalte ou de gravier. Cela se traduit directement par une adhérence accrue de la pâte de ciment à l'agrégat céramique - augmentation de la résistance mécanique de l'ITZ (Figure II-17)

Le facteur majeur déterminant la résistance de l'ITZ est l'adhérence de la pâte de ciment à la surface du granulat, qui dépend en grande partie des irrégularités (rugosité). Le granulat céramique recyclé a une surface très rugueuse et une porosité locale élevée, ce qui fait pénétrer l'eau et la pâte de ciment dans la structure du granulat céramique, donc une forte liaison mécanique et physique entre la pâte de ciment et le granulat est créée (Figure II-18).

De plus, en utilisant le même type de céramique comme substitut du sable de rivière. Siddique et al [35]. ont détectés que la présence de particules de silice contribue à la densification de la matrice de béton et à la formation de gel de silicate de calcium hydraté (CSH) conduisant à une zone de transition interfaciale (ITZ) améliorée de la matrice de pâte de ciment.

Cette réaction pouzzolanique supplémentaire entraîne la connexion de dimères de CSH pour former du CSH hautement polymérisé et une augmentation de la longueur de la chaîne. La polymérisation plus élevée du gel CSH provoque un raffinement de la structure des pores, entraînant une diminution de la porosité et une augmentation de la compacité de l'ITZ. L'enrichissement de l'ITZ est un résultat important obtenu par l'augmentation de la longueur de la chaîne de CSH.

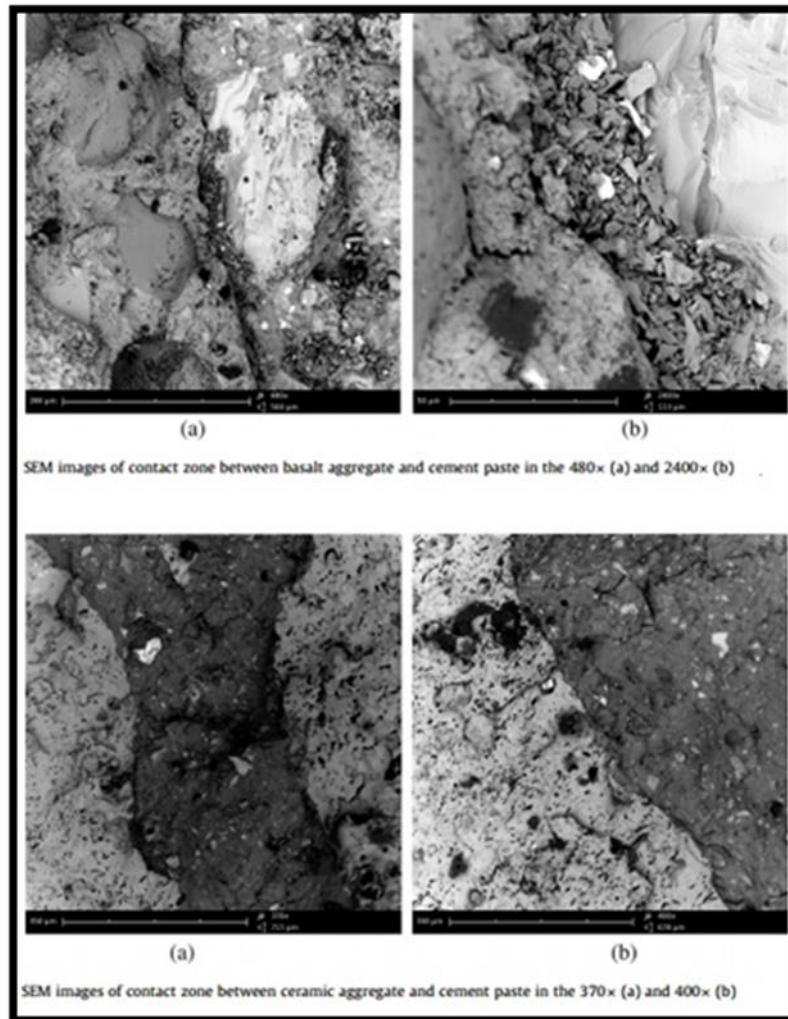


Figure II-17. Image SEM d'un ITZ pâte/basalte (en haut) et pâte/céramique (en bas) selon Zegardlo et al.

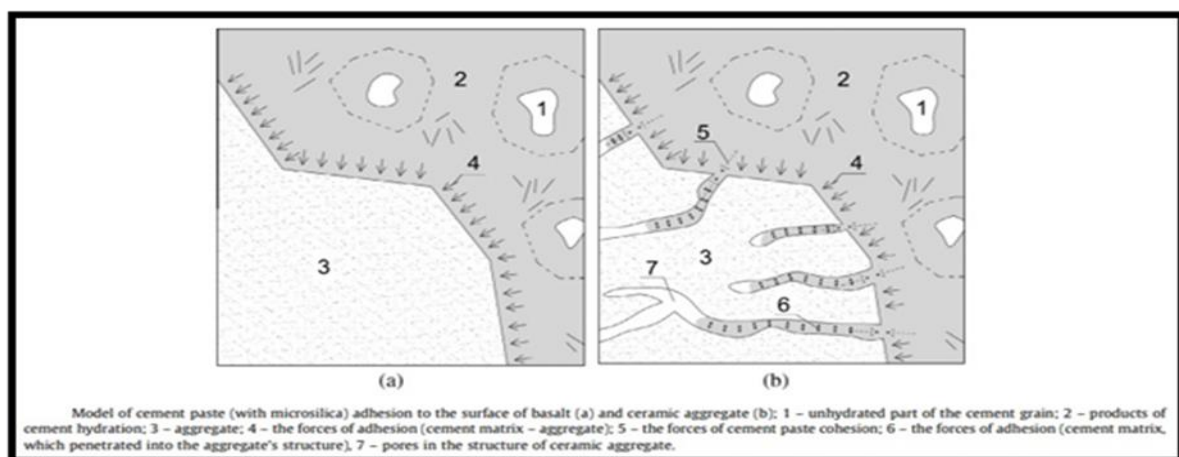


Figure II-18. Modélisation de l'ITZ pâte/basalte (à gauche) et pâte/céramique (en droite) selon Zegardlo et al.

CHAPITRE III

Essais, résultats et discussions

CHAPITRE III

Essais, résultats et discussion

III.1. Caractéristiques des matériaux

III.1.1. Introduction

Le béton ordinaire est un mélange de ciment, d'eau, de sable et de gravier en proportions spécifiques.

Dans ce chapitre, nous allons présenter les caractéristiques des matériaux utilisés (Figure III.1) pour la confection des bétons étudiés.

- *Ciment de type CEMI 42.5 N fournie par le groupe Lafarge-Holcim établie à M'sila.
- *Un sable concassé au laboratoire, à base de déchets céramique sanitaire.
- *Un sable de la région de BOUSAADA (OUED MAITAR).
- *Des graviers concassés de fraction granulaire (3/8, 8/16, 16/25) d'origine calcaire.
- *L'eau potable du laboratoire (laboratoire de génie civil de M'sila).

Ciment



**Sable en céramique
sanitaire**



Le sable naturel



Gravier 3/8



Gravier 8/16



Gravier 16/25



Figure III.1. Les différents matériaux utilisés.

III.2. Le sable

III.2.1. Masse volumique absolue (NF P18-555)

C'est la masse d'un corps par unité de volume absolu de matière pleine (volume de matière seule, pores à l'intérieur des grains exclus), notée et exprimée en (g/cm^3 , kg/m^3 , T/m^3) comme indiqué aux tableaux III.1 et III.2. On détermine la masse volumique absolue du sable à l'aide d'un récipient de capacité 1000 ml (Figure III.2).

*On prend 03 échantillons de masse $M = 300 \text{ g}$.

*On place l'échantillon dans le récipient à 1000 ml et on y verse $V_e = 150 \text{ ml}$ d'eau.

*On malaxe soigneusement le contenu pour chasser l'air qui y existe.

On détermine le volume final occupé par le mélange sable-eau. Soit (V_m) ce volume. Le volume de 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.2. Masse volumique absolue du sable

Tableau III. 1. Masse volumique absolue de sable naturel.

N° d'essai	M (g)	V_e [g]	V_m [g]	ρ [g/cm^3]	ρ_{moy} [g/cm^3]
1	300	150	266	2,59	2,60
2	300	150	270	2,50	
3	300	150	260	2,73	

Tableau III.2. Masse volumique absolue de sable céramique.

N° d'essai	M (g)	V_e [g]	V_m [g]	ρ [g/cm^3]	ρ_{moy} [g/cm^3]
1	300	150	280	2.30	2.26
2	300	150	285	2.22	
3	300	150	282	2.27	

III.2.2. Masse volumique apparente (NF P 18-555)

A l'état lâche, la masse volumique apparente, est la masse du matériau par unité de volume compris des vides existants entre les grains (Tableaux III.3 et III.4). On détermine la masse volumique apparente du sable à l'aide d'un entonnoir standardisé de capacité 2 à 2.5 litres.

*On remplit l'entonnoir avec du sable sec.

*On pèse le récipient vide M_1 .

*Une fois le récipient est rempli, on nivelle la surface du sable et on pèse le tout. Soit M_2 ce poids.

Avec un volume de $V_r = 900 \text{ cm}^3$, du récipient, la masse volumique apparente du sable est donnée par la formule suivante :

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

Tableau III.3. Masse volumique apparente à l'état lâche du sable naturel

N° d'essai	M_1 [g]	M_2 [g]	ρ [g/cm ³]	ρ_{moy} [g/cm ³]
1	115	1437	1.47	1.47
2		1441	1.47	
3		1449	1.48	

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

N° d'essai	M_1 [g]	M_2 [g]	ρ [g/cm ³]	ρ_{moy} [g/cm ³]
1	117	1326	1.34	1.33
2		1325	1.34	
3		1320	1.33	

La masse volumique à l'état compact (Tableaux III. ??? et III. ???), est la masse du matériau par unité de volume après remplissage du récipient et compactage par tassement à 30 secousses manuelles.

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

N°d'essai	M_1 [g]	M_2 [g]	ρ [g /cm3]	ρ_{moy} [g /cm3]
01	115	2100.93	2.2065	2.2066
02	115	2101.1	2.2067	
03	115	2101	2.2066	

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

N°d'essai	M_1 [g]	M_2 [g]	ρ [g /cm ³]	ρ_{moy} [g /cm ³]
01	115	1974.94	2.0666	2.0666
02	115	1974.96	2.0666	
03	115	1974.95	2.0666	

III.2.3. Porosité, Compacité et indice des vides (NF P 18-555)

La porosité est le volume des vides entre les grains du sable. Elle est déterminée par la formule suivante :

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

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

$$C = \rho_{app}/\rho_{abs} = 100 - p$$

L'indice des vides est le rapport entre le volume du vide et le volume de solide.

$$e = V_v / V_s = p / (100 - p)$$

Les résultats de la porosité, la compacité et l'indice de vide sont regroupés dans les deux tableaux suivants III.5 et III. 6.

Tableau III.5. Porosité, compacité et indice des vides du sable naturel.

Porosité (%)		Compacité (%)		Indice des vides	
Lâche	Compact	Lâche	Compact	Lâche	Compact
43,46	15,13	56,54	84,87	0,76	0,17

Tableau III.6. Porosité, compacité et indice des vides pour le sable céramique

Porosité (%)		Compacité (%)		Indice des vides	
Lâche	Compact	Lâche	Compact	Lâche	Compact
41.15	8.55	58.85	91.44	0.7	0.09

III.2.4. Teneur en eau (NF P 18-555)

Le sable à la capacité de retenir une quantité d'eau très grande, si son humidité est comprise entre la limite de 0 à 3%, on l'appelle sec. Pour avoir cette teneur (Tableaux III.7 et III.8) il faut :

*Peser un échantillon de sable humide, soit M_h son poids (500 g).

*Laisser l'échantillon dans une étuve à une température de 105°C à 110°C pendant 24 heures.

*Peser l'échantillon de nouveau, soit M_s son poids.

La teneur en eau du sable est :

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

Tableau III.7. Teneur en eau de sable naturel.

N° d'essai	M_h [g]	M_s [g]	W (%)	Moyenne
1	500	498	0.40	0.47
2	500	497	0.60	
3	500	498	0.40	

Tableau III.8. Teneur en eau du sable céramique.

N° d'essai	M _h [g]	M _s [g]	W (%)	Moyenne
1	500	499	0.20	0.33
2	500	498	0.40	
3	500	498	0.40	

III.2.5. Degré d'absorption d'eau (NF P 18-555)

Elle est le pouvoir d'un matériau d'absorber et de retenir l'eau comme indiqué aux tableaux III.9 et III.10. Elle est définie en pourcentage d'après la formule suivant :

$$A\% = (M_2 - M_1) / M_1 \times 100$$

M₁ : la masse du matériau sec en (g).

M₂ : la masse du matériau imbibée d'eau en (g).

Tableau III.9. Absorption d'eau du sable naturel

N° d'essai	M ₁ [g]	M ₂ [g]	W (%)	Moyenne
1	570	500	14.00	14.70
2	577		15.40	

Tableau III.10. Absorption d'eau du sable céramique

N° d'essai	M ₁ [g]	M ₂ [g]	W (%)	Moyenne
1	600.5	500	20.1	20.75
2	605		21	

III.2.6. Analyse granulométrique (NF P 18-560)

L'analyse granulométrique a pour but de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles des grains constituant l'échantillon, la distribution en poids des particules d'un granulat suivant leur dimension permet de déterminer sa continuité.



Figure III.3. Analyse granulométrique du sable.

Après avoir prélever 1000g du matériau sable sec et peser chaque tamis à vide (m_i), on constitue une colonne de tamis (Figure III.3) propres et secs dont l'ouverture de la maille est respectivement de haut en bas : (5 - 2,5 - 1,25 - 0,63 - 0,315 - 0,16 - 0,08 – fond).

*On verse le matériau sur la colonne et on la fixe soigneusement sur la machine d'agitation.

*Après 10 minutes d'agitation, on pèse chaque tamis séparément Soit (M_i) la masse su tamis plus les granulats. La différents entre M_i et m_i correspond au refus partiel des de tamis.

Le tamisât cumuler est donné par la relation suivant : $T = 100 - R_c$

Où T : Tamisât en (%) et R_c : Refus cumulés en (%)

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant III.11 et III.12:

Tableau III.11. Analyse granulométrique du sable naturel.

Tamis	Refus partielle	Refus cumulé (g)	Refus cumulé %	Tamisât %
5	0	0	0	100
2,5	107	107	10,7	89,3
1,25	71	178	17,8	82,2
0,63	138	316	31,6	68,4
0,315	372	688	68,8	31,2
0,16	265	953	95,3	4,7
0,08	43	996	99,6	0,4
Fond	4	1000	100	0

Tableau III.12. Analyse granulométrique de sable céramique.

Tamis	Refus partielle	Refus cumule (g)	Refus cumule %	Tamisât %
5	0	0	0	100
2.5	159	159	15.9	84.1
1.25	90	249	24.9	75.1
0.63	355	604	60.4	39.6
0.315	279	883	88.3	11.7
0.16	83	966	96.6	3.4
0.08	32	998	99.8	0.2
Fond	2	1000	100	0

Le module de finesse qui nous permet de juger la grosseur du sable (Tableau III.13), est exprimé par le rapport de la somme des refus cumulés des tamis de mailles

Tableau III.13. Classification des modules de finesse des sables.

Quantité du sable	Module de finesse
Gros	> 2.5
Moyen	2 à 5
Fin	1.5 à 2
Très fin	1 à 1.5

Pour le sable naturel, son module de finesse est de 2.24, ce qui est l'équivalent d'un sable moyen. Pour le sable céramique, le module de finesse indique aussi un sable moyen, il est de 2.86

III.2.7. Equivalent de sable (NF P 18-598)

Cet essai permet de mettre en évidence la proportion d'impuretés argileuses ou ultrafines contenues dans le sable et le pourcentage de poussières nuisibles et les éléments argileux qui diminuent la qualité du béton et mortier. Le déroulement de l'essai s'effectue comme suit :

- *Prendre une pesée de 150 g.
- *Remplir l'éprouvette de solution lavante jusqu'au premier repère (10cm).
- *Verser la prise d'essai (150 g) dans l'éprouvette et taper fortement à plusieurs reprises avec la paume de la main afin de chasser toutes les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon.
- *Laisser reposer pendant 10 minutes
- *Fermer l'éprouvette à l'aide du bouchon en caoutchouc et lui imprimer 90 cycles de 20 cm de course horizontale en 30 secondes à l'aide d'un agitateur mécanique (Figure III.4) .
- *Rincer avec la solution lavante au-dessus de l'éprouvette ainsi que les parois.
- *Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette en le faisant tourner lentement. Cette opération a pour but de laver le sable et de faire monter les éléments fins et argileux.
- *Effectuer cette opération jusqu'à ce que la solution lavante atteigne le 2eme repère. Laisser ensuite reposer pendant 20 minutes.

Lisez la hauteur h_1 du niveau supérieur de flocculant jusqu'au fond de l'éprouvette l'aide d'une règle. Mesurer avec la règle la hauteur h_2 comprise entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire et le fond de l'éprouvette.

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

*Introduire le piston dans l'éprouvette et laisser descendre doucement jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment. A cet instant bloquer le manchon du piston et sortir celui-ci de l'éprouvette.

*Introduire le réglelet dans l'encoche du piston jusqu'à ce que le zéro vienne buter contre la face intérieure de la tête du piston, soit h'_2 la hauteur lue et correspondant à la hauteur de la partie sédimentée.

$$ESP = h'_2/h_1 \times 100 \%$$



Figure III.4. Agitateur pour équivalent de sable.

Les résultats des différentes hauteurs ainsi que l'équivalent de sable visuel et mesuré au piston sont reportés au tableau III.14.

Tableau III.14. Résultats obtenus pour l'équivalent de sable naturel.

N° d'essai	h_1 (cm)	h_2 (cm)	ESV (%)	Moyenne	h'_2 (cm)	ESP (%)	Moyenne
1	9,9	8,6	86,87	85,54	8,3	83,84	81,60
2	10,2	8,7	85,29		8,2	80,39	
3	10,3	8,7	84,47		8,3	80,58	

Selon la norme NF P 18-598, le sable est très propre avec l'absence totale de fines argileuses.

III.3. Les graviers

III.3.1. Masse volumique absolue:

Les mêmes opérations effectuées pour le sable, le seront effectuées pour les différents graviers. Les masses volumiques absolues des fractions granulaires utilisés pour la fabrication du béton sont reportées aux tableaux III.15, III.16 et III.17

Tableau III.15. Masse volumique absolue de gravier 3/8.

N° d'essai	M ₁ [g]	V _e [cm ³]	V ₁ [g]	ρ	ρ_{moy} [g/cm ³]
1	300	300	422	2,45	2,44
2	300	300	423	2,43	
3	300	300	422	2,45	

Tableau III.16. Masse volumique absolue de gravier 8/16.

N° d'essai	M ₁ [g]	V _e [cm ³]	V ₁ [g]	ρ [g/cm ³]	ρ_{moy} [g/cm ³]
1	300	300	418	2,542	2,526
2	300	300	419	2,521	
3	300	300	420	2,521	

Tableau III.17. Masse volumique absolue de gravier 16/25.

N° d'essai	M ₁ [g]	V _e [cm ³]	V ₁ [g]	ρ [g/cm ³]	ρ_{moy} [g/cm ³]
1	300	300	415	2,61	2,61
2	300	300	415	2,61	
3	300	300	415	2,61	

III.3.2. Masse volumique apparente (NF P 18-555)

Dans cette mesure, il y a que le volume du récipient qui change entre 7l pour le gravier 3/8, 10l pour le gravier 8/16 et un récipient de 20l pour les graviers 16/25. Les valeurs de cette caractéristique sont données aux tableaux III.18, III.19 et III.20.

Tableau III.18. Masse volumique apparente du gravier 3/8.

N° d'essai	M ₁ [kg]	M ₂ [kg]	ρ [g/cm ³]	ρ_{moy} [g/cm ³]
1	2.922	12.77	1,40	1,40
2		12.74	1,40	
3		12.75	1,40	

Tableau III.19. Masse volumique apparente gravier 8/15.

N° d'essai	M ₁ [kg]	M ₂ [kg]	ρ [g/cm ³]	ρ_{moy} [g/cm ³]
1	3.468	17.868	1,44	1,44
2		17.874	1,44	
3		17.900	1,44	

Tableau III.20 Masse volumique apparente gravier 16/25.

N° d'essai	M ₁ [kg]	M ₂ [kg]	ρ [g/cm ³]	ρ_{moy} [g/cm ³]
1	7.292	35.892	1,43	1,43
2		35.901	1,43	
3		35.925	1,43	

III.3.3. Porosité, compacité et indice des vides (NF P 18-555)

Ces paramètres sont calculés comme cités dans le cas du sable. Elles sont données au tableau III.21 suivants :

Tableau III.21. Porosité, compacité et indice des vides.

Fraction du Gravier	Porosité P (%)	Compacité C (%)	L'indice des vides E
3/8	42.62	57,37%	0.74
8/16	46,55	53,45	0,87
16/25	45.21	54.79	0.82

III.3.4. Analyse granulométrique (NF P 18-560)

Les résultats obtenus de chaque fraction du gravier, sont regroupés dans les tableaux III.22, III.23 et III.24.

Tableau III.22. Analyse granulométrique du gravier 3/8.

Tamis (mm)	Refus partiel [g]	Refus cumulés		Tamisât (%)
		[g]	(%)	
8	14	14	0,88	99,13
6,3	553	567	35,44	64,56
5	565	1132	70,75	29,25
2,5	467	1599	99,94	0,06
1,25	1	1600	100,00	0,00
Fond	0	1600	100,00	0,00

Tableau III.23. Analyse granulométrique gravier 8/16.

Tamis (mm)	Refus partiel [g]	Refus cumulés		Tamisât (%)
		[g]	(%)	
16	57.8	57.8	1.80	98.20
12.5	660.1	717.9	22.30	77.70
10	1365.6	1132	64.7	35.30
8	954.9	1599	94.36	5.64
6.3	170.5	1600	99.66	0,34
Fond	9.5	1600	99.95	0,05

Tableau III.24. Analyse granulométrique du gravier 16/25.

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
25	172,00	172,00	3,44	96,56
20	2193,00	2365,00	47,27	52,73
16	2351,00	4716,00	94,26	5,74
12,5	285,00	5001,00	99,96	0,04
Fond	1,00	5002,00	99,98	0,02

III.4. Caractéristiques du ciment utilisé (CEMI MOUKAWIM)

Le ciment utilisé dans notre étude est un CEM I 42,5N-SR3, de la cimenterie Lafarge-Holcim Groupe M'sila. C'est un ciment gris résistant aux sulfates, contenant un faible taux d'aluminates de calcium et une proportion de gypse inférieure à celle d'un ciment portland composé. Quelques-unes de ces caractéristiques sont résumées au tableau III.25.

Tableau III.25. Quelque élément chimique du ciment utilisé.

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

III.5. Formulation du béton

Avec l'aide de la méthode de Dreux-Gorisse (Tableau III.26), quatre (04) bétons ont été confectionnés :

- Béton témoin BT0 : 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 : Sont des bétons ordinaires mais, la fraction sableuse (le sable de dune) est substituée par 10, 20 et 30% par un sable d'origine céramique sanitaire.

Tableau.III.26. Formulation du béton pour 1m³

Eléments	Formulation pour 1m ³
Ciment	350 Kg
Sable de dune	624.2 Kg
Gravier 3/8	262.5 Kg
Gravier 8/15	560.2 Kg
Gravier 15/25	374.3 Kg
Eau	175 l

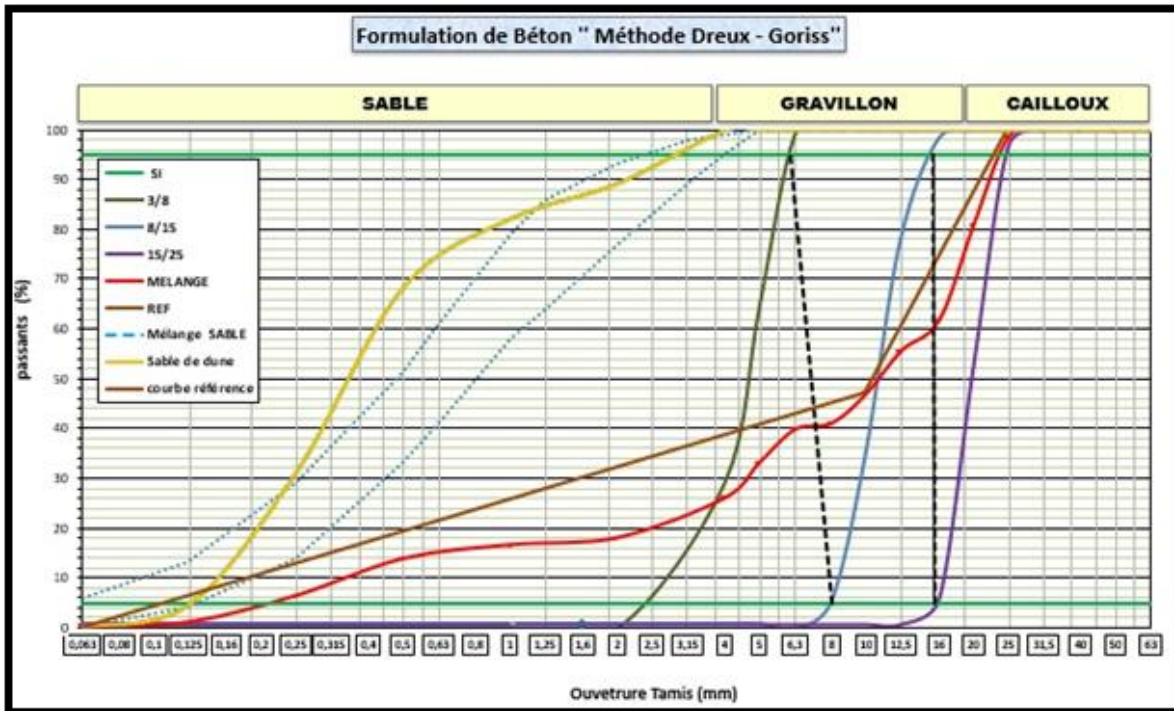


Figure III.5. Courbe de référence du béton de référence.

III.6. Elaboration des bétons

Le fonctionnement de la bétonnière électrique est très simple : les ingrédients du béton : ciment, sable, gravier sont mélangés avec de l'eau. Les lames installées à l'intérieur du cylindre vont alors remuer les maïres premières jusqu'à l'obtention d'un mélange homogène (figure III.6).



Figure III.6. Malaxage du béton ordinaire

III.6.1. Confection des éprouvettes

Pour les besoins de notre étude et selon la nature des essais réalisés, on a utilisé des moules cubiques $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ et des moules prismatiques $7 \times 7 \times 28 \text{ cm}^3$. Le nombre d'échantillons pour chaque essai est de trois (03) afin d'avoir une moyenne représentative (Figure III.7).



Figure III.7. Confection des bétons étudiés

III.6.2. Moulage et démoulage

Après le malaxage du béton, il est introduit dans les moules. Le démoulage de ces dernières est exécuté après 24 heures de leur coulage et aussitôt mise dans les conditions de cure après étiquetage (Figure III.8).



Figure III.8. Etiquetage des différents bétons

III.7. Essai sur béton frais

Dans ce qui va suivre, on a utilisé la désignation selon le tableau III. 27

Tableau. III.27. Désignation des bétons utilisés

Désignation	Sable céramique	Sable de dune
BT0	0%	100%
BT10	10%	90%
BT20	20%	80%
BT30	30%	70%

III.7.1. Affaissement au cône d'Abrams

L'affaissement au cône d'Abrams ou slump test est exécuté selon la norme mentionnée (Figure III.9). Lors du malaxage du béton ce test fournit une appréciation sur la consistance du béton.

Dans un cône tronconique, on verse 3 couches de bétons après que chacune d'elle soit piquée 25 fois par une tige d'acier. Après l'arasage de la dernière couche, on soulève le moule avec précaution et on mesure l'affaissement.



Figure III.9. Essai de cône d'Abrams.

Sur la figure III.10, on a reporté les différentes valeurs de l'affaissement des bétons étudiés. Pour le béton témoin BT0, l'affaissement est de 7cm. L'affaissement le plus grand est enregistré pour le béton BT30 avec 8,5 cm. On remarque qu'avec chaque augmentation du pourcentage de substitution l'affaissement augmente.

L'affaissement augmente avec l'introduction et l'accroissement du pourcentage de sable d'origine céramique. Ceci est en relation avec la couche de glaçure déposée sur l'une des surfaces du sable en question.

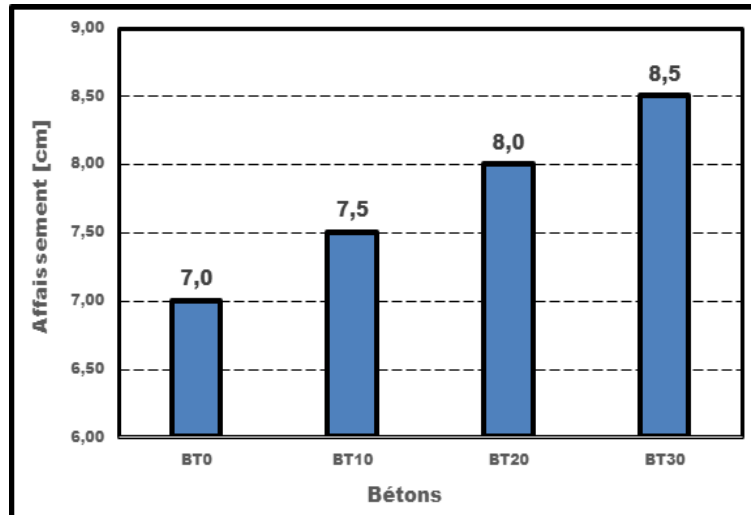


Figure III.10. Affaissement des différents bétons.

III.8. Essais sur béton durci

III.8.1. La masse volumique

Avant chaque date d'essai destructif des éprouvettes, leurs masses est mesurées. La masse volumique du béton étudié est la masse sur le volume de l'éprouvette ($10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$).

La masse volumique est donnée par la formule suivante

$$\rho = M/V [\text{g/cm}^3]$$

Dans la figure qui suit (Figure III.11), la masse volumique des différents bétons augmente proportionnellement avec la durée de cure. D'un autre côté elle diminue avec plus de sable céramique incorporé dans le béton car, le sable céramique est plus léger que le sable de dune. Néanmoins elle est contenue dans un intervalle réduit indiquant un béton de moyen densité aux alentours de 2400 à 2500 g/cm^3 .

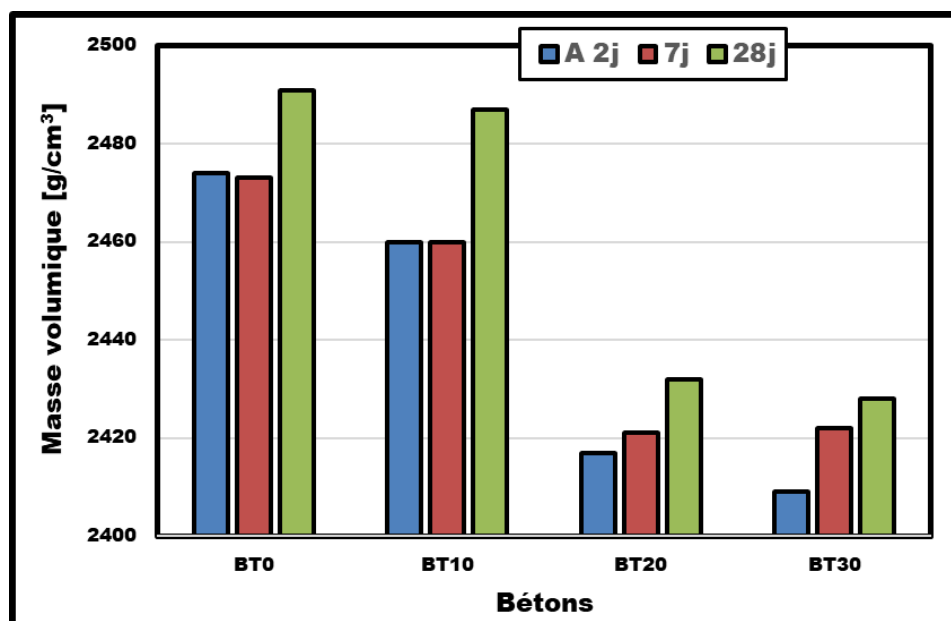


Figure III.11. La masse volumique des bétons élaborés.

III.8.2. Résistance à la compression

L'essai de résistance à la compression est effectué par l'application d'un effort de chargement sur une éprouvette cubique ($10 \times 10 \times 10$) cm^3 , jusqu'à rupture de celle-ci. La presse utilisée est une machine de type CONTROLS (Figure III.18) ayant une capacité maximale de 3000KN. Les échantillons conservés dans l'eau ont été extraits du bain humide avant 15 à 20 mn avant le début de l'essai (2, 7, 28 jours).



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

Les résultats de cet essai sont illustrés sur la figure III.13. On remarque qu'avec l'avancement du temps de cure la résistance de tous les bétons augmente, mais elle diminue de façon progressive avec l'augmentation de la substitution du sable dunaire par le sable céramique.

Cette réduction de la résistance est due au caractère fragile du sable céramique, ainsi que l'absorption de l'eau accrue de ce dernier par rapport au sable dunaire ce restreint l'hydratation adéquate du ciment.

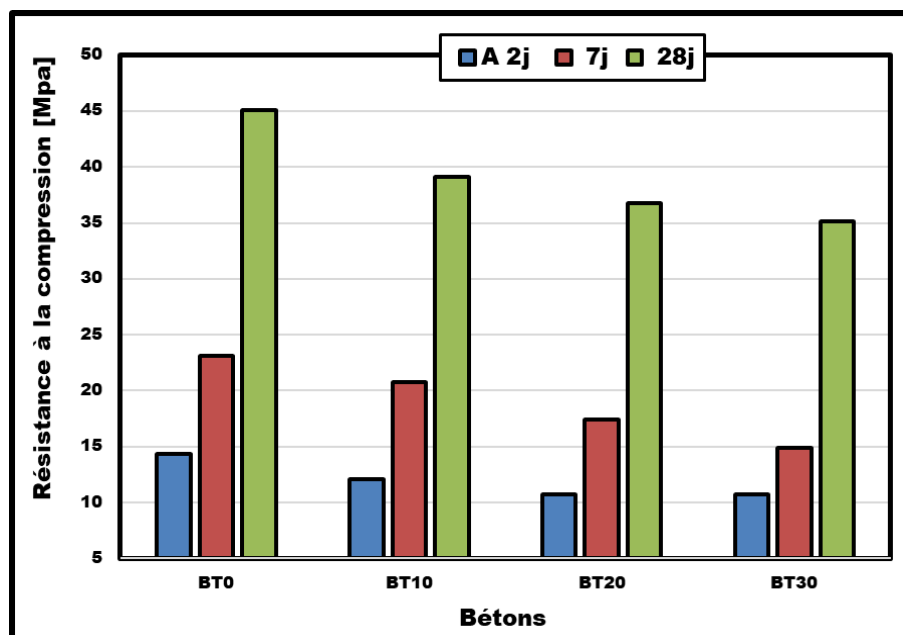


Fig.III.13. Résistance à la compression des différents bétons

III.8.3. Essai à ultrason

Cet essai consiste à mesurer la vitesse longitudinale du son infiltré dans une éprouvette en béton. L'appareil de lecture comporte une boîte de mesure (Figure III.14), et deux têtes (une émettrice et l'autre réceptrice).

Les essais ultrasoniques ont été effectués sur des éprouvettes prismatiques ($10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$). La vitesse de propagation est donnée par l'équation suivante : $V = D/t$

-V : vitesse de propagation en m/sec ;

-D : distance entre les têtes en (mètre) mesurée avec une précision de 1% ;

-t : temps en microseconde.



Figure III.14: Appareil ultrason.

La figure III.15, illustre les valeurs de la vitesse ultrasonique des différents types de béton. On remarque que la vitesse de propagation de son est au-delà de 4 km/sec, ce qui nous affirme la bonne qualité de nos bétons.

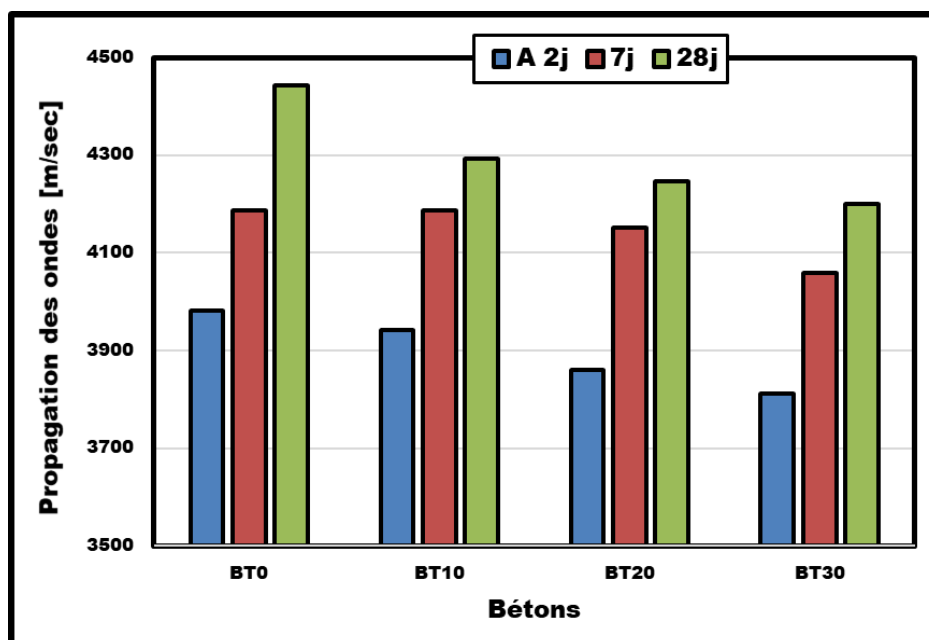


Figure III.15. Propagation des ondes ultrasonores.

III.8.4. Retrait

La mesure de retrait consiste à évaluer les variations des déformations (ΔL) par rapport à longueurs initiales (L_0). Le retrait suit la relation ($\Delta L / L_0$) avec comme unité [mm/m]. Ces longueurs sont mesurées à l'aide d'un comparateur (Figure III.16) permettant de réaliser des mesures avec une exactitude inférieure ou égale à 0.005mm.



Figure III.16. Dispositif de mesure pour retrait.

Après le suivi du retrait pendant les vingt premiers jours (Figure III.17), on peut observer que la courbe de retrait est divisée en deux parties distinctes : une pente raide durant les premiers jours, suivie d'une stabilisation au-delà du 16^{ème} jour.

En augmentant le taux de substitution de 10% à 30%, le retrait augmente de manière proportionnelle. Le retrait le plus court est enregistré pour le BT0, tandis que le BT30 présente le retrait le plus long.

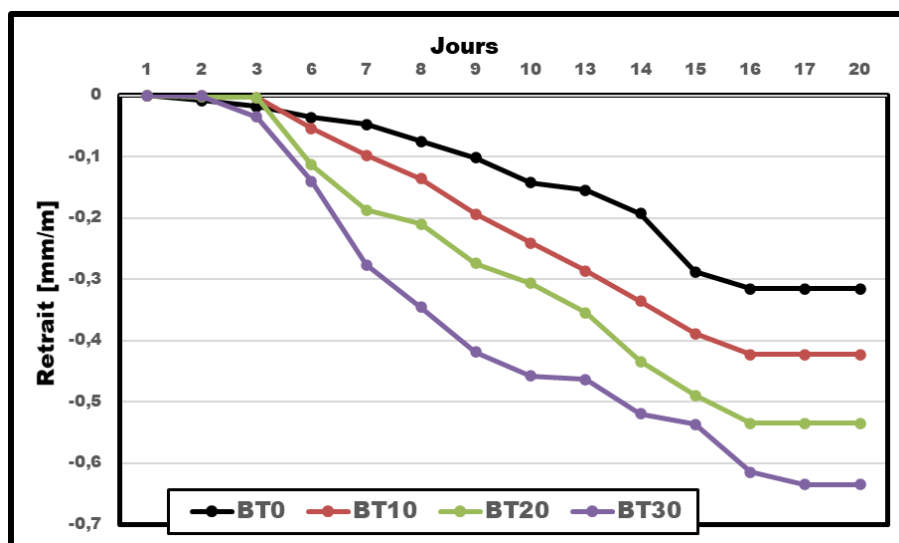


Figure III.17. Retrait des différents bétons

III.8.5. 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 jusqu'à stabilisation de la masse à 20°C à la pression atmosphérique (c'est-à-dire jusqu'à saturation du matériau). L'essai a pour but de déterminer la masse d'eau absorbée de l'éprouvette. Elle est donnée par la formule

$$A = (M_2 - M_1) / M_1$$

Avec :

A : coefficient d'absorption.

M_1 : poids sec du matériau.

M_2 : poids humide du matériau.

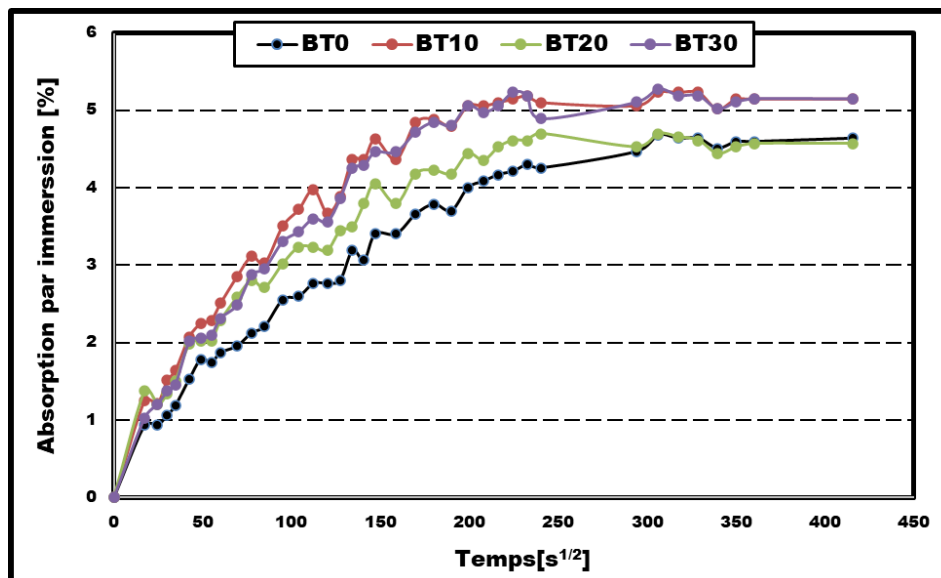


Figure III.18. Absorption totale des bétons étudiés

Les résultats des essais d'absorption réalisés sur différents types de béton révèlent que le béton à base de sable normale présente une masse d'eau absorbée plus faible que les bétons modifiés contenant du sable céramique. De plus, cette absorption augmente à mesure que la quantité de céramique utilisée dans le mélange augmente. Cette augmentation est due comme l'indique les tableaux III.9 et III.10 à une absorption d'eau accrue des sables céramique par rapport aux sables naturels.

III.8.6. L'absorption capillaire :

L'éprouvette de béton est conditionnée en chambre humide (95% HR et $T 20^\circ\text{C}$) pendant la période de maturation étudiée (28 jours) et séchée dans une étuve ventilée pendant un minimum de 7 jours à 60°C , jusqu'à masse constante ($\Delta M < 0,1\%$ en 24 heures).

L'échantillon est ensuite placé sur deux appuis collés sur le fond dans un bac rempli d'eau jusqu'à une hauteur de $2 \pm 1 \text{ mm}$ à partir de la base de l'éprouvette (figure III.19). La masse absorbée est mesurée avec balance à différents intervalle de temps.

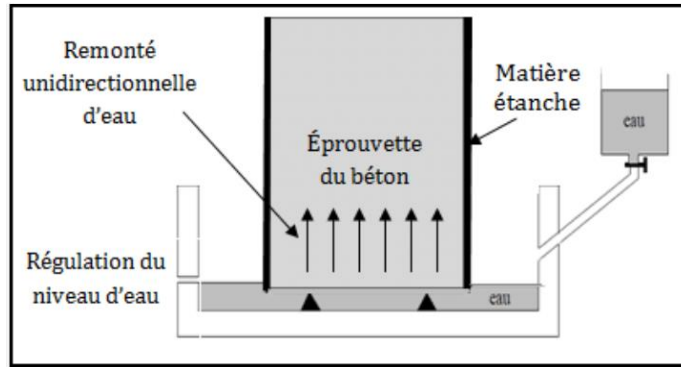


Figure III.19. Essai d'absorption par capillarité

D'après le résultat obtenus (Figure III.20), on remarque que le béton BT0 est le moins absorbants des différents bétons étudiés. Avec l'introduction des sables de déchets céramiques ce taux d'absorption augmente.

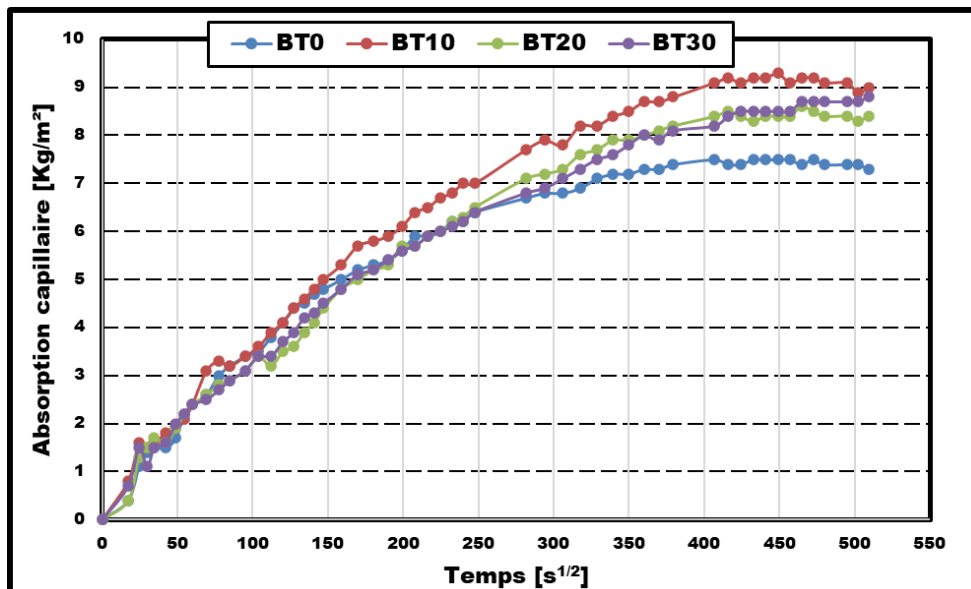



Figure III.20. Evolution de l'absorption capillaire en fonction de \sqrt{t} .

III.8.7. La porosité accessible à l'eau par pesée hydrostatique NF P 18-459

D'après les taux des vides collectés au tableau III.28, on remarque qu'avec l'incorporation et l'augmentation du sable céramique ce resserre de plus en plus avec le temps ce qui est synonyme peut être d'une bonne interface entre le sable recyclé et la pâte de ciment

Tableau III.28. Taux des vides dans les bétons

Désignation	A 2 jours	A 28 jours	A 90 jours
BT0	14.09	8.12	3.10
BT10	14.52	7.73	4.12
BT20	15.23	8.13	4.20
BT30	15.42	8.68	4.59



**Conclusion
Générale**

Conclusion générale

Le béton joue un rôle essentiel en tant que matériau économique et polyvalent. Il est indispensable pour la construction de nombreux ouvrages dans les domaines du bâtiment et des travaux publics tels que les immeubles d'habitation, les ponts, les tunnels, les aéroports, les barrages, les ports, et bien d'autres. Sa robustesse et sa capacité à être utilisé dans divers environnements en font un matériau universel qui peut être mis en œuvre aussi bien à l'air libre qu'en milieu aquatique.

Suite à la provenance des matériaux premières qui le constituent, le béton est écologiquement polluant. Le ciment déforme des paysages de millions d'années d'existence pour extraire l'argile et le calcaire. Les granulats de carrière, de lit de rivière, les sables marins ou dunaires, ces milieux sont l'environnement vital de plusieurs espèces animales. L'eau ces dernières années n'est pas si abondante à cause des changements climatiques.

Pour ces raisons, chercheurs et scientifiques ainsi que les intervenants dans ce domaine, sont toujours à la recherche de différentes solutions, afin de réduire l'impact environnementales. Le rapport ciment à béton est réduit grâce à différents ajouts cimentaires comme la fumée de silice ou les cendres volantes. Les granulats sont recyclés d'anciens bétons comme exemple. Les adjuvants réducteurs d'eau et améliorant la consistance sont nombreux.

Le secteur des céramiques est en pleine expansion ces dernières années, mais cette industrie est l'une des plus génératrice de déchets. Ces déchets de porcelaine, majolique, carreaux de sols, etc. sont vulnérables aux chocs et aux fissures.

Les travaux exposés dans cette œuvre portent sur la création d'un composite cimentaire utilisant du sable artificiel fabriqué à partir de déchets de céramique. L'objectif est d'étudier l'impact de ce sable sur les caractéristiques physico-mécaniques du béton, en utilisant des proportions de 10, 20 et 30%. Les résultats obtenus nous ont permis de tirer les conclusions suivantes :

* L'affaissement augmente avec l'introduction et l'augmentation du pourcentage de déchet. Ceci est en relation avec la couche de glaçure des céramiques sanitaires.

*La propagation des ondes ultrasonores dans les bétons étudiés, indique des bétons d'une résistance convenable car, tous les bétons enregistrés des vitesses à plus de 4200m/s à 28 jours.

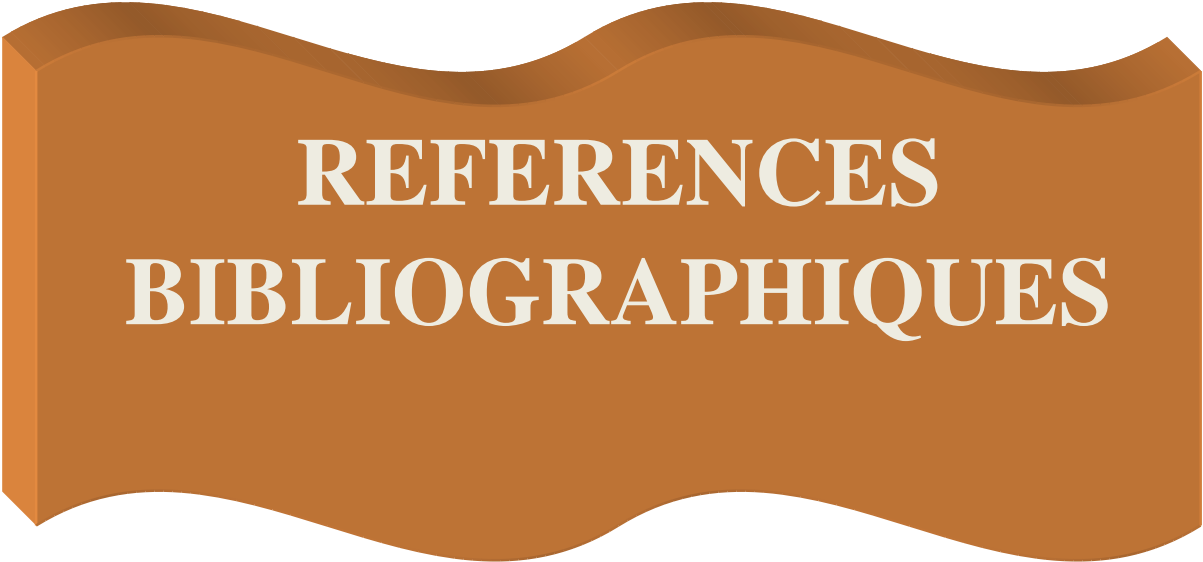
*Les résistances à la compression des bétons de déchets, est inférieure au béton témoin à 28 jours à cause d'une interface granulats/pâte réduit, mais les résistances à la compression sont acceptables et dépassent la résistance souhaiter par la méthode de DREUX-GORISSE.

* La masse volumique des bétons augmente avec la durée de cure et diminue avec l'incorporation de sable céramique, qui est plus léger que le sable de dune. Cependant, elle reste dans l'intervalle de 2400 à 2500 g/cm³, indiquant un béton de densité moyenne.

*En augmentant le taux de substitution de 10% à 30%, le retrait augmente proportionnellement. Le BT0 (avec 100% de sable dunaire) a le retrait le plus court, tandis que le BT30 a le retrait le plus long.

* Les essais d'absorption sur divers bétons montrent que le béton à base de sable normal absorbe moins d'eau que les bétons modifiés contenant du sable céramique. L'absorption augmente également avec la quantité croissante de céramique dans le mélange, car les sables céramiques absorbent davantage d'eau que les sables naturels.

D'après notre recherche, nous avons observé un véritable intérêt dans l'utilisation des sables céramiques dans les matériaux cimentaires, en particulier en ce qui concerne leur résistance à la compression, qui s'est avérée très satisfaisante. Des essais de reproductibilité sont à prévoir pour élaborés des normes afin de préserver les sables naturels.



REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Duggal, S. K. (2008). *Building materials*. 3rd Ed, New age publisher.
- [2] Garel, E., Bonne, W., Collins, M. B., & Pepper, C. (2019). Offshore sand and gravel mining. In, Cochran, J. Kirk, Bokuniewicz, Henry J. and Yager, Patricia L. (eds.) *Encyclopedia of Ocean Sciences*. Elsevier, pp. 655-662.
- [3] Neumann, F., & Curbach, M. (2018). Thermal treatment of desert sand to produce construction material. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 149, p. 01030). EDP Sciences.
- [4] <https://www.sikesconcrete.com/beach-sand> consulté le 27/03/2023.
- [5] Dinh, H. L., Liu, J., Ong, D. E., & Doh, J. H. (2022). A sustainable solution to excessive river sand mining by utilizing by-products in concrete manufacturing: A state-of-the-art review. *Cleaner Materials*, 100140.
- [6] Malathy, R., Rajagopal Sentilkumar, S. R., Prakash, A. R., Das, B. B., Chung, I. M., Kim, S. H., & Prabakaran, M. (2022). Use of Industrial Silica Sand as a Fine Aggregate in Concrete- An Explorative Study. *Buildings*, 12(8), 1273.
- [7] Chaudhary, J. L., Harison, A., & Srivastava, V. (2015). Use of silica sand as cement replacement in ppc concrete. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 4(11), 55-58.
- [8] GUENNOUN. R, « Etude et formulation d'un béton de sable de dune » Alger, juin 2003.
- [9] Li, B., Ke, G., & Zhou, M. (2011). Influence of manufactured sand characteristics on strength and abrasion resistance of pavement cement concrete. *Construction and Building Materials*, 25(10), 3849-3853.
- [10] Shen, W., Yang, Z., Cao, L., Cao, L., Liu, Y., Yang, H., Lu, Z. & Bai, J. (2016). Characterization of manufactured sand: Particle shape, surface texture and behavior in concrete. *Construction and Building materials*, 114, 595-601.
- [11] Pilegis, M., Gardner, D., & Lark, R. (2016). An investigation into the use of manufactured sand as a 100% replacement for fine aggregate in concrete. *Materials*, 9(6), 440.
- [12] Tahar, Z. E. A., Kadri, E. H., Ngo, T. T., Bouvet, A., & Kaci, A. (2016). Influence of recycled sand and gravel on the rheological and mechanical characteristic of concrete. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 30(4), 392-411.

- [13] Zhao, Z., Remond, S., Damidot, D., & Xu, W. (2015). Influence of fine recycled concrete aggregates on the properties of mortars. *Construction and Building Materials*, 81, 179-186.
- [14] Heidari, A., Hashempour, M., Javdanian, H., & Karimian, M. (2018). Investigation of mechanical properties of mortar with mixed recycled aggregates. *Asian Journal of Civil Engineering*, 19, 583-593.
- [15] <https://www.joradp.dz/FTP/Jo-Francais/2001/F2001077.pdf> consulté le 28/03/2023.
- [16] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098&from=EN> consulté le 28/03/2023.
- [17] KEHILA, Y., MEZOUARI, F., & MATEJKA, G. (2011). Intérêt des matériaux geosynthétiques dans la conception des centres d'enfouissement technique (CET) en Algérie. *studies geotechnica et mechanica*, 33(3), 51-60.
- [18] <https://www.aps.dz/societe/150511-dechets-menagers-et-assimiles-collecte-de-plus-de-672-000-tonnes-de-dechets-en-2022-dans-la-wilaya-d-alger> consulté le 28/03/2023.
- [19] Chaouch, R., Abbes, A., & Djebbar, A. B. (2008). Déchets solides encombrants les plages d'Annaba. *Synthèse: Revue des Sciences et de la Technologie*, 17, 46-56.
- [20] <https://www.elmoudjahid.dz/fr/economie/dechets-speciaux-et-dangereux-plus-de-300-000-tonnes-enregistrees-annuellement-en-algerie-192958> consulté le 28/03/2023.
- [21] Roukia, B., (2022) L'Algérie face à ses déchets : outils et entraves de gestion vers quelles perspectives ? *Architecture et environnement de l'enfant*, 7(1), 56-79.
- [22] https://www.isdb.org/sites/default/files/media/documents/202006/Success_Lflt_Azerbaijan_FR%20%281%29.pdf consulté le 28/03/2023
- [23] Ahmad, J., Kontoleon, K. J., Majdi, A., Naqash, M. T., Deifalla, A. F., Ben Kahla, N ; F. Islem, H, & Qaidi, S. M. (2022). A comprehensive review on the ground granulated blast furnace slag (GGBS) in concrete production. *Sustainability*, 14(14), 8783.
- [24] Guo, P., Meng, W., Nassif, H., Gou, H., & Bao, Y. (2020). New perspectives on recycling waste glass in manufacturing concrete for sustainable civil infrastructure. *Construction and Building Materials*, 257, 119579.
- [25] Siddika, A., Al Mamun, M. A., Alyousef, R., Amran, Y. M., Aslani, F., & Alabduljabbar, H. (2019). Properties and utilizations of waste tire rubber in concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 224, 711-731.
- [26] Bouamrane, A., ELouazzani, D. C., Barna, L. T., & Mansouri, K. (2014). Valorisation des boues de papeterie comme matières premières secondaires dans les mortiers de ciment Portland:

incidence des conditions d'incinération sur la résistance mécanique des mortiers. *J Mater Environ Sci*, 5(2), 605-614.

[27] F. Andreola, I. Lancellotti, M. Romagnoli, "Ceramic Waste as Raw Material in Portland Cement Clinker Production," *Waste Management*, vol. 28, no. 4, pp. 538-544, 2008. doi: 10.1016/j.wasman.2007.01.011.

[28] M. G. Bonotto, E. M. F. Vieira, M. E. M. Tavares, "Recycling of Ceramic Industry Wastes in Floor Tiles Formulation," *Ceramics International*, vol. 36, no. 3, pp. 945-952, 2010. doi: 10.1016/j.ceramint.2009.12.014.

[29] C. Barry Carter, M. Grant Norton; (2007) "Ceramic Materials: Science and Engineering". Springer-New York; 716 p

[30] Mohamed N. Rahaman (2014); "Ceramic Processing and Sintering", CRC Press; 2nd edition (July 31, 2003); 875 pages

[31] Liu, K., Alam, M. S., Zhu, J., Zheng, J., & Chi, L. (2021). Prediction of carbonation depth for recycled aggregate concrete using ANN hybridized with swarm intelligence algorithms. *Construction and Building Materials*, 301, 124382.

[32] Awoyera, P. O., Ndambuki, J. M., Akinmusuru, J. O., & Omole, D. O. (2018). Characterization of ceramic waste aggregate concrete. *HBRC journal*, 14(3), 282-287.

[33] 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.

[34] Zegardło, B., Szeląg, M., & Ogrodnik, P. (2016). Ultra-high strength concrete made with recycled aggregate from sanitary ceramic wastes–The method of production and the interfacial transition zone. *Construction and Building Materials*, 122, 736-742.

[35] Siddique, S., Shrivastava, S., & Chaudhary, S. (2018). Influence of ceramic waste as fine aggregate in concrete: Pozzolanic, XRD, FT-IR, and NMR investigations. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 30(9), 04018227.