

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

FACULTE : THECNOLOGIE

DEPARTEMENT : Génie Civil

N° :



FILIERE : Génie civil

OPTION: MATERIAUX

Mémoire présenté pour l'obtention

Du diplôme de Master

Par:- SAFARI Amina

-ABD ELKEBIR Nadjat

**Comportement d'un béton élaboré avec des
granulats de céramique sanitaire**

Soutenu devant le jury composé de :

BENCHEIKH Mohamed	Université de M'sila	Président
CHIKOUCHE Mohamad Aziz	Université de M'sila	Encadreur
BIBI Mekki	Université de M'sila	Co-Encadreur
BELOUADEH Messaouda	Université de M'sila	Examineur

Année universitaire : 2022 / 2023

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

REMERCIEMENT

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

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

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

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

Merci beaucoup

Dédicaces

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

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

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

*À mon encadreur et mes professeurs À mes collègues de génie
matériaux et mes anciens collègues*

*et à tous ceux que j'aime et qui m'aiment Je finis par remercier toute
personne qui m'a aidé et soutenue*

de près ou de loin pour que ce modeste mémoire aboutisse

Sommaire

Remerciements.....	
Dédicaces.....	
Sommaire.....	
Liste des figure	1
Liste des tableaux.....	X
ملخص.....	1
Résumé.....	1
Abstract	1
INTRODUCTION GENERALE	2
Chapitre 1 :Les granulats dans le béton	
I-1-Introduction.....	5
I-2-Définition	5
I-3-Différents types des granulats.....	5
I-3-1-Différents types des granulats	5
I-3-2- Classement selon leurs tailles	6
I-3-3- Classement selon leurs formes.....	7
I-4-Le choix des sources de granulats.....	8
I-5-La production des granulats	9
I-5-1-Découverte ou décapage.....	9
I-5-2-L'extraction.....	10
I-5-3-Le transport vers le centre de traitement	10
I-5-4-La confection.....	10
I-5-5-La stockage	12
I-6-Propriétés des granulats	12
I-6-1-La résistance	12
I-6-2-La raideur	13

I-6-3-La force de liaison.....	13
I-6-4-Forme et texture	13
I-6-5-La Densité	14
I-7-Effet des granulats sur le comportement des bétons.....	14
Chapitre 2 : Valorisation des granulats recyclés dans les bétons	
II-1-Introduction	20
II-2- Définition	20
II-3-Les différents types de déchets	20
II-3-1-Déchets ménagers et assimilés.....	20
II-3-2-Déchets encombrants	21
II-3-3-Déchets spéciaux	22
II-3-4-Déchets spéciaux dangereux.....	23
II-3-5-Déchets d'activité de soins	23
II-3-6-Déchets inertes.....	24
II-4-Gestion des déchets	24
II-5-Valorisation des déchets en génie civil.....	25
II-5-1-Le laitier de hauts fourneaux	25
II-5-2-Le verre.....	26
II-5-3-Les pneus usagés	28
II.6. Valorisation des déchets céramique dans les bétons	30
Chapitre 3 : Essai, résultats et discussion	
III.1.Introduction	35
III.2-Les matériaux utilisés	35
Caractérisation des matériaux utilisés	36
Le sable36	
La masse volumique (NF P 18-555).....	36
Porosité, compacité et indice des vides(NF P 18-555).....	37
Teneur en eau NF P 18-555	38
Degré d'absorption d'eau NF P 18-555.....	38

Analyse granulométrique NFP18-560	38
Equivalent de sable NF P 18-598.....	40
Les granulats	41
La masse volumique.....	41
Porosité, compacité et indice des vides NF P 18-555	42
Degré d'absorption d'eau	42
Analyse granulométrique NF P18-560	43
Essai de résistance au choc NF P 18-573	45
Caractéristiques du ciment utilisé (CEMI MOUKAWIM)	45
Eau de gâchage.....	45
Formulation du béton.....	46
Malaxage des bétons	46
Confection des éprouvettes	47
Moulage et démoulage	47
III-5-Essai Sur béton frais	48
III-5-1-Affaissement au cône d'Abrams (NF P18-451)	48
III-6-Essais sur béton durci.....	49
III-6-1. La masse volumique	49
III-6-2-Propagation des ondes ultrasonique	50
III-6-3- Le retrait.....	51
III-6-4- Essai d'absorption par immersion	52
III-6-5- l'absorption capillaire	53
III-6-6- La porosité accessible à l'eau par pesée hydrostatique	53
CONCLUSION GENERALE.....	55
BIBLIOGRAPHIE.....	57

Liste Des Figures

CHAPITRE 1 :Les granulats dans le béton

Figure I.1. Différents types des granulats	6
Figure I.2. Graviers arrondis à gauche et graviers irréguliers à droite	8
Figure I.3. Carrière de granulats.....	9
Figure I.4. Décapage de la terre végétale	9
Figure I.5. Extraction des roches dures.....	10
Figure I.6. Transfert vers lieu de traitement	10
Figure I.7. Concasseur à mâchoire	11
Figure I.8. Cribleur rotatif (à gauche) et vibrant (à droite)	11
Figure I.9. Lavage des granulats	11
Figure I.10. Abri de stockage des granulats.....	12
Figure I.11. Courbe contrainte-déformation des granulats.....	13
Figure I.12. Effet de la taille des granulats sur l'abrasion du béton selon Dhir et al	14
Figure I.13. Influence de l'ouvrabilité sur l'abrasion des bétons selon Dhir et al	15
Figure I.14. Evolution de la perte de masse des bétons selon Pyo et al.....	15
Figure I.15. Relation entre l'abrasion du béton et la résistance de la roche selon Kilic et al	17
Figure I.16. Relation entre l'abrasion du béton et la dureté de la roche selon Kilic et al	17
Figure I.17. Modèle surfacique de réponse 2D et 3D de E/C, G/C et LA selon Tunc&Alyamac	17
Figure I.18. Profondeur d'abrasion des bétons selon kumar et al	18
Figure I.19. Résistance à la compression (à droite), résistance à l'abrasion (à gauche) des bétons caoutchoutés selon kang et al	18

CHAPITRE 2 :Valorisation des granulats recyclés dans les bétons

Figure II.1. Déchets ménagers et assimilés	21
Figure II.2. Evolution de la production des déchets ménagers et assimilés en Algérie	21
Figure II.3. Déchets encombrants.....	21
Figure II.4. Quantité de déchets (en Kg) dans les 10 plages de baignade d'Annaba.....	22
Figure II.5. Déchets spéciaux	22
Figure II.6. Evolution quantitative des batteries usagées à l'échelle nationale	23
Figure II.7. Déchets spéciaux dangereux	23
Figure II.8. Déchets d'activité de soins.....	23
Figure II.9. Quantité de DASRI produite à l'échelle nationale en 2018	24
Figure II.10. Déchets inertes	24
Figure II.11. Affaissement des bétons élaborés selon Patra & Mukharjee	26
Figure II.12. Résistances à la compression des bétons élaborés selon Patra & Mukharjee	26
Figure II.13. Déchets de bouteille en verre.....	27
Figure II.14. Affaissement des bétons à déchets de verre selon Rashid et al	27
Figure II.15. Résistances à la compression des bétons à déchets de verre selon Rashid et al.....	28
Figure II.16. Représentation schématique de l'ITZ des bétons utilisé selon Rashid et al	28
Figure II.17. Collecte des pneus usagés.....	29

Liste Des Figure

Figure II.18. Résistance à la compression des bétons en granulats caoutchouc selon Hadzima-Nyarko et al.....	30
Figure II.19. Résistance à la compression des bétons à céramique sanitaire selon Medina et al.....	31
Figure II.20. Valeurs d'affaissement des bétons selon Canbaz	32
Figure II.21. Valeurs d'affaissement des bétons selon Canbaz	32
Figure II.22. Résistances à la compression des bétons à ciment alumineux (en haut) et portland (en bas) selon Ogrodnik et al	33

CHAPITRE 3 :Essai et résultats

Figure III.1.Les différents matériaux utilisés	35
Figure III.2. Eprouvette graduée pour masse volumique absolue du sable	36
Figure III.3.Détermination de la masse volumique apparente.....	37
Figure III.4.Analyse granulométrique du sable.....	39
Figure III.5. Agitateur pour équivalent de sable	40
Figure III.6. Appareil de l'essai Los Angeles.....	45
Figure III.7. Courbe de référence de Dreux-Gorisse	46
Figure III.8.Malaxage du béton	47
Figure III.9.Confection des bétons étudiés.....	47
Figure III.10. Etiquetage des différents bétons	48
Figure III.11.Essai d'affaissement au cône d'Abrams	48
Figure III.12.Valeurs de l'affaissement des bétons de l'étude.....	49
Figure III.13. La masse volumique des bétons élaborés	49
Figure III.14.Appareil de mesure des ultrasons	50
Figure III.15. Propagation des ondes ultrasonores	51
Figure III.16. Appareil de mesure du retrait.....	51
Figure III.17. Suivre du retrait des différents bétons	52
Figure III.18. Suivre du retrait des différents bétons	52
Figure III.19. Essai d'absorption par capillarité.....	53
Figure III.20. Essai d'absorption par capillarité.....	53

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE 1 :Les granulats dans le béton

Tableau I.1. Taille des granulats les plus utilisés.....	7
Tableau I.2.Granulats, résistance, dureté et abrasion de Los Angeles selon Kılıc et al....	16
Tableau I.3.Granulats, résistance, dureté et abrasion de Los Angeles selon Kılıc et al....	16

CHAPITRE 2 :Valorisation des granulats recyclés dans les béton

Tableau II.1. Propriétés physiques des bétons selon Pitarch et al	30
Tableau II.2. Résistance à la compression des bétons selon Geurra et al.....	31
Tableau II.3. Les dosages des bétons élaborés selon Medina et al	32

CHAPITRE 3 :Essai et résultats

Tableau III.1. Masse volumique absolue du sable de dune	36
Tableau III.2.Masse volumique apparente sable.....	37
Tableau III.3.Porosité, compacité et indice des vides	37
Tableau III.4.Teneur en eau de sable utilisé	38
Tableau III.5. Degré d'absorption d'eau du sable.....	38
Tableau III.6. Analyse granulométrique du sable de dune.....	39
Tableau III.7.Résultats obtenus pour l'équivalent de sable de dune	40
Tableau III.8.Masse volumique absolue de gravier 3/8.....	41
Tableau III.9.Masse volumique absolue de gravier 8/16.....	41
Tableau III.10.Masse volumique absolue de gravier 16/25.....	41
Tableau III.11.La masse volumique absolue du gravier céramique3/8	41
Tableau III.12. Masse volumique apparente du gravier3/8.....	41
Tableau III.13. Masse volumique apparente gravier 8/16	42
Tableau III.14. Masse volumique apparente gravier 16/25	42
Tableau III.15. Masse volumique apparente des graviers 3/8 céramique	42
Tableau III.16. Porosité, compacité et indice des vides des granulats naturels	42
Tableau III.17. Porosité, compacité et indice des vides des graviers 3/8 céramique	42
Tableau III.18. Absorption d'eau des graviers naturels	43
Tableau III.19. Absorption d'eau du gravier 3/8 céramique.....	43

Tableau III.20. Analyse granulométrique pour gravier 3/8	43
Tableau III.21. Analyse granulométrique pour gravier 8/16	44
Tableau III.22. Analyse granulométrique pour gravier 16/25	44
Tableau III.23. Analyse granulométrique pour gravier 3/8 céramique.....	44
Tableau III.24. Essai Los Angeles de granulats.....	45
Tableau III.25. Formulation du béton pour 1m³.....	46
Tableau III.26. Taux des vides dans les bétons.....	53

ملخص

يبحث البشر دائما عن الراحة والأمان. بعد قرن من اكتشافها، لا تزال الخرسانة هي المادة الأكثر استعمالا في الهندسة. لكن هذا المركب مصنوع بأكمله من مواد طبيعية، فالأسمنت به صلصال وكلس والرمل والحصى عبارة عن مواد كلسية أو بازالتية ومستخرجة بسرعة فائقة. هذا الاستخراج مضر بالبيئة.

أدت الحاجة إلى زخرفة أكثر دقة وتناغما إلى ظهور صناعة الخزف. من المعروف أن هذه المواد هشة ويجب التعامل معها بحذر. من الإنتاج إلى التركيب في الموقع، كمية النفايات الناتجة كثيرة جدا ويتطلب تخزينها مساحة كبيرة.

استجابة لهاتين القضيتين البيئيتين، نقترح في هذا العمل استخدام نفايات الخزف الصحية كبديل للحصى المسحوق في إنتاج الخرسانة.

من أجل الوصول إلى الخلاصة العامة، تمت صياغة ثلاثة فصول ومقدمة عامة. يتناول الفصل الأول الأنواع والأصول المختلفة للحصى المستخدم في الخرسانة والفصل الثاني يدرس إعادة استعمال النفايات وتثمينها في الخرسانة. الفصل الثالث مخصص لمختلف التجارب التي أجريت على الخرسانات.

الكلمات المفتاحية: البيئة ، الخرسانة ، الحصى الطبيعية ، الخزف الصحي ، معالجة النفايات.

Résumé

L'humanité recherche toujours le confort et la sécurité. Un siècle après sa découverte, le béton est toujours le matériau de luxe en architecture. Mais ce composite est fabriqué à partir d'ingrédients naturels. Le ciment est fait d'argile et de calcaire, le sable et le gravier sont d'origine calcaire ou basalte et extraites à une vitesse étonnante. Ce développement déraisonnable est nocif pour l'environnement.

Le besoin d'une décoration plus soignée et harmonieuse a donné naissance à l'industrie de la céramique. Ces matériaux sont réputés comme fragile et doit être manipulé avec précaution. De la production à l'installation sur site, la quantité de déchets est nombreuse et le stockage de ces derniers nécessite beaucoup d'espace.

En réponse à ces deux enjeux environnementaux, on propose dans ce travail d'utiliser les déchets céramiques sanitaires comme remplaçant au gravier concassé pour l'élaboration du béton.

Afin d'arriver à la conclusion générale, trois chapitres et une introduction générale ont été formulés. Le premier chapitre traite sur les différents type et origine des granulats utilisés dans le béton et le deuxième chapitre cite la valorisation des déchets dans le béton. Le troisième chapitre est consacré aux différents essais menés sur les bétons étudiés.

Mots clés : Environnement, béton, granulats naturels, céramique sanitaire, traitement déchet.

Abstract

Humans are constantly looking for comfort and security. A century after its discovery, concrete is still the luxury material in architecture. But this composite is obtained from natural components. Cement is produced by clay and limestone, and sand and gravel are of limestone or basalt origin and mined with astonishing speed. This unreasonable development is dangerous to the environment.

The need for harmonious decoration gave rise to the ceramic industry. These materials are known to be fragile and should be handled with care. From production to installation on site, the quantity of waste is numerous, and the storage requires a lot of space.

In response to these two environmental issues, we propose in this work to manage sanitary ceramic waste as a substitute for crushed gravel for the production of concrete.

To reach the general conclusion, three chapters and a general introduction have been formulated. The first chapter deals with the various types and origins of aggregates used in concrete and the second chapter cites the recovery of waste in concrete. The third chapter is devoted to the various tests carried out on concretes.

Keywords: Environment, concrete, natural aggregates, sanitary ceramics, waste treatment.

Introduction générale

Introduction générale

Les civilisations humaines ont cherché des moyens et des mélanges pour joindre les pierres et autres matières premières en une forme solide utile à des fins de construction. Après de nombreux essais, les Assyriens et les Babyloniens ont été les premiers à adopter le concept en utilisant l'argile comme liant naturel. A la même époque, les Egyptiens ont découvert la chaux et le gypse, qui ont fortement contribué à la construction des fameuses pyramides.

Avec le Romains, la construction est devenue beaucoup plus robuste, en mélangeant la chaux et de la « pozzolana », une cendre volcanique du mont Vésuve dans la région de Pozzuoli. Ce processus a donné du ciment, qui était plus résistant au sel et à l'eau douce. La telles que les célèbres thermes romains, le Colisée qui sont des exemples de l'architecture romaine antique utilisant des liants en ciment.

De l'ancien Panthéon romain aux gratte-ciel modernes des villes, le béton mélange de deux composants : des granulats et une pâte a littéralement contribué à renforcer notre monde et à faire prospérer nos économies. La pâte est composée de ciment Portland et d'eau, qui lie les granulats, constitué de sable et du gravier.

Les progrès technologiques dans la production de béton et de béton armé nécessitent des sources supplémentaires de matières premières, en particulier l'utilisation des granulats de haute qualité. La mise en œuvre de ce problème est entravée par la pénurie sans cesse croissante de ressources minérales et énergétiques, ainsi que par les exigences environnementales en matière de protection de l'environnement.

Le recyclage et la réutilisation des déchets de construction et de démolition semblent une solution envisageable dans la réhabilitation et les constructions de nouveaux édifices.

Les granulats recyclés sont considérés comme respectueux de l'environnement et essentiels pour la progression et la croissance de l'industrie de la construction dans sa quête de réduction de ses émissions. Ils sont extrêmement polyvalents dans la mesure où ils peuvent imiter les granulats naturels dans les bétons.

Dans les constructions récentes, la consommation de matériaux céramiques augmente de jour en jour sous la forme de carrelages, sanitaires, isolateurs électriques etc. Mais une grande quantité de ces variantes céramiques se transforme en gaspillage pendant le traitement, le transport et la fixation en raison de sa nature fragile. L'utilisation de ces déchets comme granulats dans la production de béton pourrait être une mesure efficace pour maintenir l'environnement.

L'objectif de la thèse

L'objectif de cette investigation est d'étudier la faisabilité du remplacement partiel du gravier grossier (3/8) naturel par un gravier recyclé issu des déchets de céramiques sanitaire dans la composition d'un béton ordinaire.

Structures de la thèse

Pour arriver à notre objectif, nous avons divisé notre travail en trois chapitres avec une introduction et une conclusion générale.

*Le premier chapitre, rapporte le classement des granulats et leurs formes. Leurs effets sur le comportement du béton à aussi fait l'objet de ce chapitre.

*Le deuxième chapitre, expose les effets bénéfiques de la valorisation des déchets comme granulats dans les bétons.

*Le troisième chapitre, retrace les différents essais effectués aux seins du laboratoire de génie civil pour caractériser les différents matériaux.

N.B : Ce projet est conduit conjointement avec les thèses « Comportement d'un béton ordinaire sous l'influence d'un sable de déchets de type céramique sanitaire » et « L'introduction des déchets de céramiques dans le squelette granulaire d'un béton » dans la partie de caractérisation des matières premières pour la confection du béton.

Chapitre1

Les granulats dans le béton

Chapitre 1

Les granulats dans le béton

I-1-Introduction

Le béton est composé de ciment, de granulats (sable et gravillons), d'eau, avec une addition minérale et un ou plusieurs adjuvants, etc. Sa composition varie en fonction des différents constituants utilisés ainsi que leur proportion dans le mélange.

I-2-Définition

On appelle « granulats » (ou « granulates ») les matériaux granulaires inertes qui sont utilisés dans la construction et qui entrent notamment dans la composition des bétons. Ces grains minéraux sont appelés filler, sablon, sable, gravillon (appelé aussi gravier ou cailloux), grave ou ballast suivant leur dimension. Dans les bétons courants ces dimensions se situent entre 0,063 et 25mm.

Les granulats est un fragment de roche destiné à la fabrication d'ouvrage de travaux publics, de génie civil et de bâtiment. Leur nature et leur forme dépendent de leur provenance et des techniques de production. Le granulat est constitué d'un ensemble de grains minéraux qui selon sa dimensions (comprise entre 0 et 125mm).

I-3-Différents types des granulats

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

I-3-Différents types des granulats

Les granulats utilisés pour le béton sont classés selon leurs natures et de leurs origines, en granulats naturelle, artificielle ou recyclée. Les roches, sables et graviers naturels sont de loin la source d'granulats la plus courante dans le monde. Les matériaux artificiels et recyclés ne représentent qu'une infime partie du total des granulats produits (Figure I-1).



Figure I.1. Différents types des granulats.

**Naturels* : lorsqu'ils sont issus de roches meubles ou massives et qu'ils subissent aucun traitement autre que mécanique (réduction de dimensions), tels que concassage, broyage, criblage, lavage[1]. Les granulats les plus utilisés sont d'origine ignée. Les granulats obtenus à partir de fosses ou dragués à partir d'une rivière, d'un ruisseau ou de la mer ne sont le plus souvent pas suffisamment propres ou bien calibrés pour répondre aux exigences de qualité. Ils doivent donc être tamisés et lavés avant de pouvoir être utilisés dans le béton. Parmi les granulats naturels, les plus utilisés pour le béton proviennent de roches sédimentaires siliceuses ou calcaires, de roches métamorphiques telles que les quartz et quartzites ou de roches éruptives telles que les basaltes, les granites, les porphyres.

**Artificiels* : lorsqu'ils proviennent de la transformation à la fois thermique ou mécanique de roches ou de minerais. Le laitier de haut fourneau et les granulats synthétiques sont des granulats artificiels[2]. Le granulat de laitier de haut fourneau est obtenu par refroidissement lent du laitier suivi d'un concassage. Les particules denses et résistantes ainsi obtenues sont utilisées pour fabriquer des produits préfabriqués en béton. La densité de ceux-ci varie entre 2 et 2,8 et une masse volumique apparente de 1120 à 1300 kg/m³. Les granulats synthétiques sont produits à partir de matériaux traités thermiquement tels que l'argile expansée et le schiste utilisés pour la fabrication de béton léger. Les granulats à hautes caractéristiques sont quant à eux élaborés industriellement pour répondre à certains emplois, notamment granulats très durs pour renforcer la résistance à l'usure de dallages industriels (granulats ferreux) ou granulats réfractaires.

**Recyclés* : lorsqu'ils proviennent de la démolition d'ouvrages ou lorsqu'ils, sont réutilisés. Ils sont obtenus par traitement d'une matière inorganique utilisée précédemment dans la construction, tels que des bétons de démolition de bâtiments.

I-3-2- Classement selon leurs tailles

Selon la taille, les granulats sont classés en granulats grossiers, granulats fins et calibrés (Figure I-2).

**Les granulats grossiers* : Les granulats retenus sur un tamis de 4,75 mm sont identifiés comme grossiers. Ils sont obtenus par granulation naturelle ou par concassage artificiel de roches. La taille maximale des granulats peut atteindre 80 mm. La taille est régie par l'épaisseur de la section, l'espacement des armatures, la couverture transparente, les méthodes de mélange, de manipulation et de mise en place.

Chapitre1 :les granulats dans le béton

**Les granulats fins* : Les granulats passant à travers un tamis de 4,75 mm sont définis comme fins. Il peut s'agir de sable naturel - déposé par les rivières, de sable de pierre concassée - obtenu par concassage de pierres et de sable de gravier concassé. La plus petite taille de granulat fin (sable) est de 0,06 mm. Selon la taille des particules, les granulats fins sont décrits comme des sables fins, moyens et grossiers.

**Les granulats calibrés* : les granulats dont la plupart passent à travers une taille particulière de tamis sont appelés granulats calibrés. Par exemple, un granulat calibré de taille nominale 20 mm signifie un granulat dont la majeure partie passe au tamis IS 20 mm.

Comme règle générale, la taille d'un granulat répond à des critères granulométriques précis. Les granulats sont classés en fonction de leur granularité déterminée par analyse granulométrique à l'aide de tamis (Tableau I-1). Le granulat est désigné par le couple d/D avec ;
d : dimension inférieure du granulat.
D : dimension supérieure du granulat.

Tableau I.1. Taille des granulats les plus utilisés.

Familles	Dimensions	Caractéristiques
Fillers	0/D	D < 2 mm avec au moins 85 % de passant à 1,25 mm et 70 % de passant à 0,063 mm
Sables	0/D	d = 0 et D ≤ 4 mm
Graves	0/D	D ≥ 6,3 mm
Gravillons	d/D	d ≥ 2 mm et D ≤ 63 mm
Ballasts	d/D	d = 31,5 mm et D = 50 ou 63 mm

I-3-3- Classement selon leurs formes

Les granulats sont classés comme arrondis, irréguliers, anguleux et aplatis (Figure I-2).

**Les granulat arrondis* : Ils sont généralement obtenus d'une rivière ou d'un bord de mer et produisent des vides minimaux (environ 32 %) dans le béton. Ils ont un rapport minimum entre la surface et le volume et la pâte de ciment requise est minimale. Une mauvaise adhérence les rend inadaptes au béton et aux chaussées à haute résistance.

**Les granulat irréguliers* : Ils ont des vides d'environ 36 % et nécessitent plus de pâte de ciment par rapport aux granulat arrondis. En raison de leur forme irrégulière, ils développent une bonne adhérence et conviennent à la fabrication de béton ordinaire.

**Les granulat angulaires* : ils ont des particules pointues, angulaires et rugueuses ayant un maximum de vides (environ 40 %). Les granulats angulaires offrent une très bonne adhérence que les deux précédents. Ils sont les plus appropriés pour le béton et les chaussées à haute résistance.

**Les granulat aplatis* : ils sont parfois appelés à tort granulat allongés. La plus petite dimension latérale du granulat (épaisseur) doit être inférieure à 0,6 fois la dimension moyenne. Les granulats aplatis sont ceux dont la longueur est de 1,8 fois sa dimension moyenne. Ils s'orientent

généralement dans un plan avec des vides d'eau et d'air en dessous. Ils nuisent à la durabilité et sont limités à un maximum de 15 %.



Figure I.2. Graviers arrondis à gauche et graviers irréguliers à droite.

I-4-Le choix des sources de granulats

Les ingénieurs civils sélectionnent les granulats pour leur capacité à répondre aux exigences spécifiques du projet, plutôt que pour leur histoire géologique. Les propriétés physiques et chimiques des roches déterminent l'acceptabilité d'une source de granulats pour un projet de construction. Ces caractéristiques varient au sein d'une carrière ou d'une gravière, ce qui rend nécessaire d'échantillonner et de tester les matériaux en continu au fur et à mesure de la production des granulats.

En raison de la quantité de granulats requise pour une application typique de génie civil, le coût et la disponibilité des granulats sont importants lors de la sélection d'une source. Souvent, l'un des principaux défis auxquels est confronté l'ingénieur des matériaux sur un projet est de savoir comment utiliser le matériau disponible localement de la manière la plus rentable.

Les sources potentielles de granulats sont généralement évaluées en fonction de la qualité des plus gros morceaux, de la nature et de la quantité de matériaux fins et de la granulométrie du granulat. L'étendue et la qualité de la roche dans la carrière sont généralement étudiées en forant des carottes et en effectuant des tirs d'essai pour évaluer comment la roche se brise et en concassant certains matériaux en laboratoire pour évaluer la granulométrie, la forme des particules, la solidité, la durabilité et la quantité.

Le prix et la disponibilité sont des critères universels qui s'appliquent à toutes les utilisations des granulats. Cependant, les caractéristiques requises des granulats dépendent de la manière dont ils seront utilisés dans la structure.



Figure I.3. Carrière de granulats.

Les carrières au nord-est algérien produisent des granulats de nature carbonatée (calcaire riche en calcite CaCO_3), leur choix pour les BTP revient essentiellement à la grande dureté, énorme stabilité et imperméabilité des granulats vu que ses cavités ne sont pas reliées pour certains types de calcaire comme le calcaire siliceux ou le silex à titre d'exemples. Les marnes contiennent principalement du calcaire que des argiles, pour la fabrication des chaux et ciments de qualités[3].

I-5-La production des granulats

La production des granulats, s'effectue selon les principales étapes suivantes :

I-5-1-Découverte ou décapage

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



Figure I.4. Décapage de la terre végétale.

I-5-2-L'extraction

Cette opération se déroule par tirs d'explosifs pour les roches massives et dures, par engins de terrassement pour les roches moins dures (granulats concassés), ou par dragage en site alluvionnaires.



Figure I.5. Extraction des roches dures.

I-5-3-Le transport vers le centre de traitement

Le transfert des matériaux du lieu d'extraction vers le lieu de traitement s'effectue soit en continu, soit en discontinu. Elle s'effectue soit par des bandes roulantes ou un système de tuyauteries en milieu marin ou de bandes transporteuses flottantes entre la drague et la berge. Soit par des camions bennes, des pelles hydrauliques ou par train ou bateau dans le transport ferroviaire ou maritime.



Figure I.6. Transfert vers lieu de traitement.

I-5-4-La confection

Avant d'avoir un produit fini, les différentes roches doivent passer par des opérations de concassage, de criblage et de lavage.

**Le concassage :* Cette opération est menée afin de réduire au maximum la taille des roches acheminées par les différents moyens de transport cité auparavant. Elle s'effectue dans des concasseurs à mâchoires, à percussion, à cylindres ou des concasseurs giratoires.

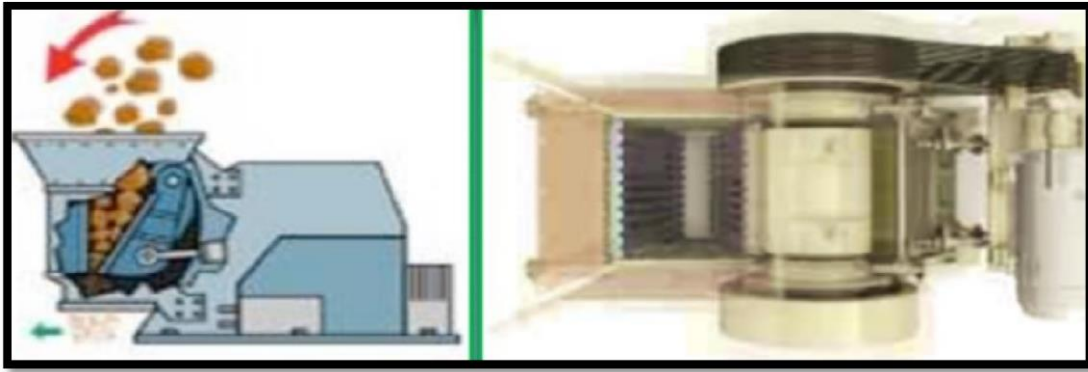


Figure I.7. Concasseur à mâchoire.

**Le criblage* : C'est l'opération de trier les grains pour obtenir des granulats de tous les calibres possibles. Elle permet d'obtenir une dimension précise comme du sable de 3 mm, ou un intervalle définie($10\text{ mm} < \text{granulats} < 20\text{ mm}$).

**Le lavage* : Il consiste en l'élimination des poussières ou l'argile enrobant les granulats. Ces impuretés s'opposent à l'adhérence des granulats avec le liant.



Figure I.8. Cribleur rotatif (à gauche) et vibrant (à droite).



Figure I.9. Lavage des granulats.

I-5-5-La stockage

Les granulats sont stockés, soit en tas individualisés, soit en trémies ou silos. Les granulats seront ensuite transportés vers les chantiers par différents moyens de transport : train, camion ou péniche.



Figure I.10. Abri de stockage des granulats.

I-6-Propriétés des granulats

Les propriétés à prendre en compte lors de la sélection des granulats pour le béton sont la multiple, parmi eux la résistance, la forme des particules, la gravité spécifique, la densité apparente, etc.

I-6-1-La résistance

Les roches couramment utilisées comme granulats ont une résistance à la compression bien supérieure à la plage habituelle de résistance du béton. Une courbe contrainte-déformation typique pour les granulats est illustrée à la Figure I-3.

Les tests effectués pour l'évaluation de la résistance sont le test d'écrasement, le test d'impact et le test de fines à dix pour cent. Généralement, les spécifications prescrivent 45 % pour les granulats utilisés pour le béton autre que la surface d'usure et 30 % pour le béton pour les surfaces d'usure, telles que les pistes, les routes, etc. limite pour la valeur d'écrasement. La ténacité du granulat est mesurée par un test d'impact. La valeur d'impact ne doit pas dépasser 30 % pour la surface d'usure et 45 % pour les bétons restants. La dureté de l'agrégat est testée par un test d'abrasion. La valeur d'abrasion est limitée à 30 % pour les surfaces d'usure et à 50 % pour le béton à d'autres fins.

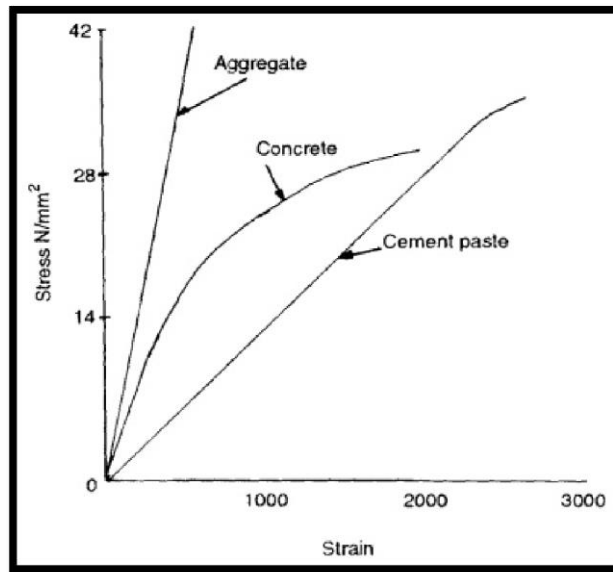


Figure I.11. Courbe contrainte-déformation des granulats.

I-6-2-La raideur

Le module d'élasticité du béton est approximativement égal à la moyenne pondérée des modules de la pâte de ciment et du granulat, ainsi le module du granulat grossier a une influence importante sur la rigidité du béton. Une valeur élevée réduit les changements dimensionnels dus au fluage et au retrait de la pâte de ciment, mais au prix de contraintes internes plus élevées. Dans un béton soumis à de fortes variations de température et d'humidité, la fissuration interne est réduite par l'utilisation d'un granulat plus compressible, mais en pratique cet effet est rarement suffisamment important pour déterminer le choix du granulat.

I-6-3-La force de liaison

En raison de la différence entre les coefficients de dilatation thermique de la pâte et du granulat et du retrait de la pâte de ciment lors du durcissement, le béton est dans un état de contrainte interne même en l'absence de forces externes. Il est rapporté que les contraintes sont susceptibles d'être les plus élevées aux interfaces pâte-granulat où de minuscules fissures existent, même dans le béton qui n'a jamais été chargé. Sous une charge externe croissante, ces fissures se propagent le long des interfaces avant de s'étendre dans les particules de pâte ou d'agrégats. La force de la liaison entre le granulat et la pâte de ciment a donc une influence importante sur la résistance du béton. Il n'y a pas de test standard pour l'adhérence, mais on sait que plus la texture de surface des particules est rugueuse, meilleure est l'adhérence.

I-6-4-Forme et texture

La forme influence plus les propriétés du béton frais que lorsqu'il a durci. Les agrégats arrondis sont très maniables mais donnent un béton à faible résistance. Il en va de même pour les granulats de forme irrégulière. Les agrégats aplatis nécessitent plus de pâte de ciment, produisent un maximum de vides et ne sont pas souhaitables. La forme angulaire est la meilleure. Les granulats concassés et non concassés donnent généralement sensiblement la même résistance pour la même teneur en ciment. La forme et la texture de surface des granulats fins régissent son taux de vide et affectent de manière significative les besoins en eau.

I-6-5-La Densité

La densité de la plupart des granulats naturels se situe entre 2.6 et 2.7. La densité et la porosité des granulats influencent grandement la résistance et l'absorption du béton. La densité est généralement indicative de sa qualité. Une faible densité peut indiquer une porosité élevée et donc une faible durabilité et une faible résistance. La densité du béton dépend grandement de la densité des granulats.

I-7-Effet des granulats sur le comportement des bétons

Dhir et al.[4] observèrent que la taille maximale des granulats affecte la résistance à l'abrasion du béton. La résistance à l'abrasion des bétons de granulats de 5 et 40 mm était inférieure à celle des bétons de granulats de 10 et 20 mm. La profondeur d'abrasion du béton de granulats de 5 mm était supérieure de plus de 50 % à celle du béton de granulats de 20 mm (Figure II.4).

Pour le béton de granulats de 40 mm, les auteurs observés lors des essais que la machine à abrasion subissait plus de vibrations, ce qui induit une force d'impact dynamique beaucoup plus importante sur la surface du béton.

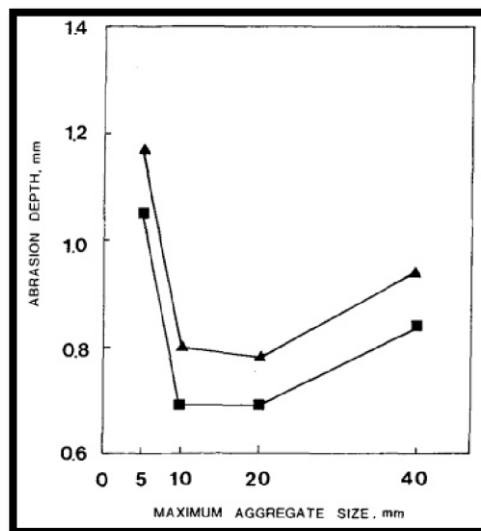


Figure I.12. Effet de la taille des granulats sur l'abrasion du béton selon Dhir et al.

Avec l'augmentation de l'ouvrabilité (E/C constant), les résultats d'abrasion sont illustrés en figure I.5. Ces mélanges avec plus de pâte s'usent plus facilement en raison de la présence moindre d'agrégats dans la surface, bien que la taille des agrégats elle-même joue un rôle.

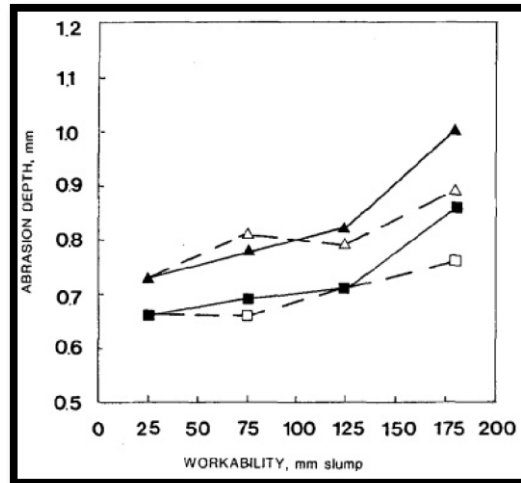


Figure I.13. Influence de l'ouvrabilité sur l'abrasion des bétons selon Dhir et al.

Cette dernière observation a été constaté par Pyo et al.[5]. Les pentes de perte de masse en fonction du temps des bétons normaux (NSC) étaient plus élevées au début de l'abrasion et ont chuté au fil du temps. Ceci est attribué à la plus faible résistance de la surface supérieure par rapport aux agrégats internes. La résistance à l'abrasion de la surface supérieure est principalement contrôlée par la dureté et la qualité de la pâte, tandis que la résistance de la face interne est contrôlée par la qualité des granulats. Pour les bétons hautes performances (HSC), la perte de masse était plus faible et la pente était la même tout au long de la période de test. Les quatre autres séries de béton ultra haute performance (UHPC) examinées présentent une excellente résistance à l'abrasion (Figure I.6).

Lorsque le béton est fabriqué avec des granulats relativement plus mous, la résistance de la matrice pâteuse devient le principal facteur contrôlant la résistance à l'abrasion. D'autre part, lorsque des granulats relativement plus durs sont utilisés, les granulats, plutôt que la matrice cimentaire, deviennent le principal facteur contrôlant la résistance à l'abrasion.

De plus, les spécimens qui ont la résistance à la compression et à la traction la plus élevée présentent une résistance extrêmement élevée à l'effet abrasif appliqué. Cela indique clairement que la résistance de la matrice et de la microstructure hautement densifiée est supérieure à celle des agrégats plus grossiers.

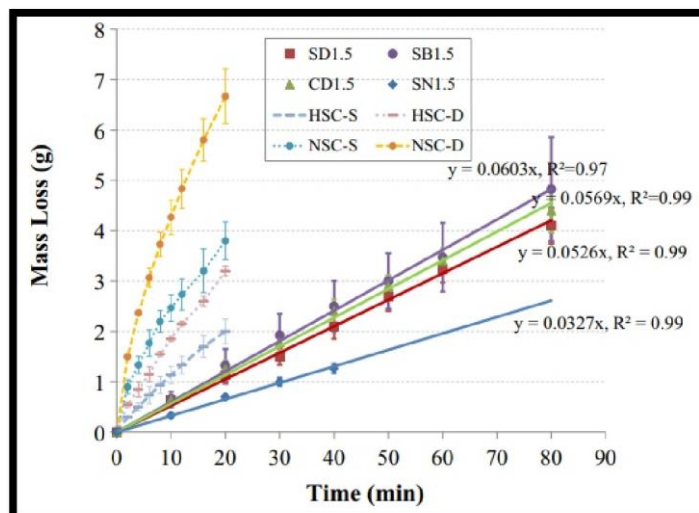


Figure I.14. Evolution de la perte de masse des bétons selon Pyo et al.

Chapitre1 :les granulats dans le béton

Kılıc et al.[5] ont examiné cinq types de granulats concassés le gabbro, le basalte, le quart site, le calcaire et le grès.

Dans le cas du gabbro la résistance à la compression de la roche est de 247 MPa (Tableau I.2) et la résistance à la compression à 90 jours du béton est 136,4 MPa (Tableau I.3). Après examen visuel du plan de rupture du spécimen testé, ils ont observé des fissures traversant le mortier et la pâte, et la rupture des granulats n'a pas été observée. Par conséquent, il avançait l'hypothèse que la résistance de la pâte limitait la résistance à la compression du béton (136,4 MPa) fabriqué avec du gabbro. Dans ce cas, le plein potentiel de résistance des granulats grossiers n'a pas été utilisé. Une pâte plus résistante doit être utilisée pour tirer pleinement parti de la résistance potentielle du granulats de gabbro.

Pour le cas des granulats de basalte, les fissures traversaient les granulats et la pâte. La pleine résistance potentielle de la pâte et des granulats a été utilisée car la résistance à la compression du basalte et de la pâte était équivalente.

L'examen visuel du plan de rupture des bétons (pour le béton de calcaire et de grès) a montré que la fissure traversait le granulats et que la majeure partie était fissurée et brisée. Lorsqu'une comparaison a été faite entre la résistance à la compression du béton et la résistance à la compression uni axiale du granulats correspondant, on peut conclure que le plein potentiel de la résistance de la pâte ne pouvait pas être utilisé lorsque le grès et le calcaire étaient incorporés dans le béton.

Tableau I.2.Granulats, résistance, dureté et abrasion de Los Angeles selon Kılıc et al.

Aggregate rock type	UCS (MPa)	Abrasion (%) (L.A 500)	Shore-hardness	Specific gravity (g/cm ³)	Water absorption (%)	Porosity (%)
Gabbro	247	11.06	79	2.846	0.14	0.40
Basalt	132	23.66	67	2.739	2.29	4.21
Quartzite	160	16.20	60	2.781	0.18	0.44
Limestone	110	24.14	47	2.674	0.42	1.13
Sandstone	52	96.18	34	2.664	2.63	5.63

Tableau I.3.Granulats, résistance, dureté et abrasion de Los Angeles selon Kılıc et al.

Curing time (days)	Compressive strength (MPa)				
	Gabbro (247)	Basalt (132)	Quartzite (160)	Limestone (110)	Sandstone (52)
3	63.8	76.2	58.1	57.4	43.4
7	79.9	90.5	63.5	64.2	44.4
28	119.4	121.2	97.4	96.3	50.3
90	136.4	134.6	103.0	107.7	53.0

Les auteurs ont constaté aussi une relation linéaire acceptable un coefficient de corrélation de 80% entre l'abrasion du béton et la résistance des granulats (Figure I.15).

Les résultats des analyses de régression linéaire, effectuées entre l'abrasion de Los Angeles du béton et l'indice de dureté des granulats, montrent qu'il existe une forte relation entre l'abrasion et l'indice de dureté. Le coefficient de corrélation est de l'ordre de 90 % et plus. Ces relations se sont avérées plus fortes que celle de la relation établie entre l'abrasion du béton et la résistance à la compression des granulats (Figure I.16).

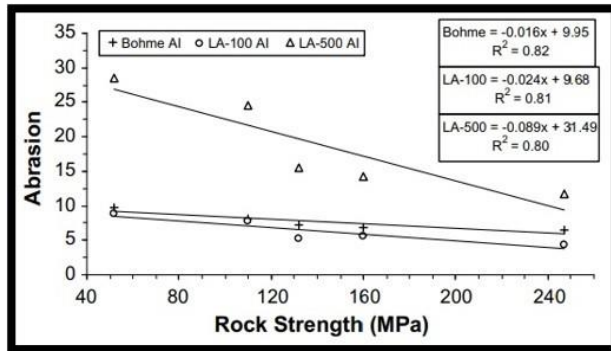


Figure I.15. Relation entre l'abrasion du béton et la résistance de la roche selon Kilic et al.

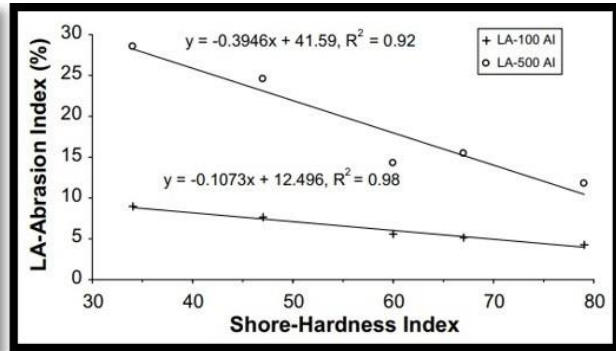


Figure I.16. Relation entre l'abrasion du béton et la dureté de la roche selon Kilic et al.

Tunc& Alyamac[6] ont travaillé sur les granulats de basalte, de calcaire et de déchets de marbre. En variant trois paramètres eau/ciment (E/C), granulats/ciment (G/C) et l'abrasion Los Angeles des granulats (LA), ils présentèrent 2 modèles de réponse surfacique (RSM). Sur la figure I.17 du premier modèle, on remarque que (E/C) et (LA) ont un impact significatif sur la résistance à la compression (f_c). En remarque qu'avec l'augmentation du LA des granulats la résistance à la compression des bétons diminue.

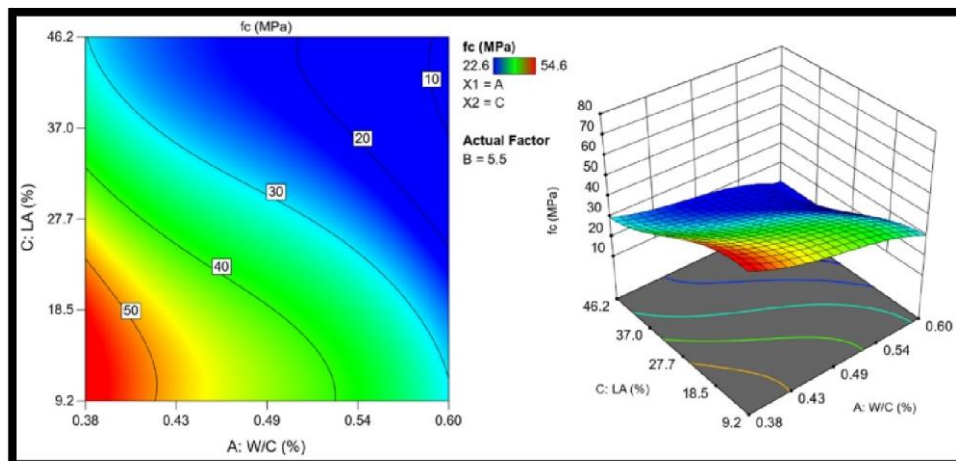


Figure I.17. Modèle surfacique de réponse 2D et 3D de E/C, G/C et LA selon Tunc&Alyamac.

La raison de cette constatation est due aux différents propriétés des granulats. A mesure que la densité augmente, le taux de vide diminue et la résistance augmente. Par conséquent, la diminution de l'abrasion des granulats, qui augmente la densité, augmente la résistance du béton. De même, l'augmentation de la valeur de l'absorption d'eau est liée à l'augmentation de l'indice des vides. Par conséquent, la perte par abrasion du granulat à forte absorption d'eau augmente et la résistance du béton diminue.

Dans le cas de remplacement des graviers concassés par des grès quartzueux, Kumar et al.[7] ont remarqué que la profondeur d'abrasion est augmentée avec l'augmentation du pourcentage d'agrégat de grès quartzueux quels que soient les rapports eau-ciment. Cette augmentation de la profondeur d'abrasion est due à la proportion plus élevée de granulats grossiers de type sédimentaire utilisés, c'est-à-dire le grès quartzueux. À mesure que le niveau de remplacement augmentait, la profondeur d'usure augmentait, révélant les surfaces d'agrégats (Figure I.18). La diminution de la résistance à l'abrasion peut également être liée à la diminution de la résistance à la compression des échantillons contenant des agrégats de grès quartzueux.

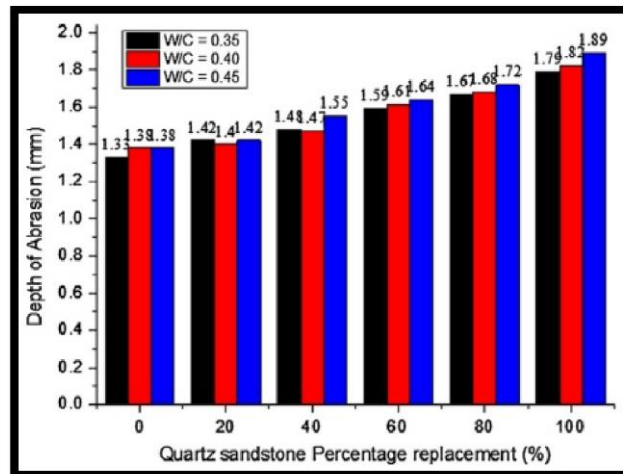


Figure I.18. Profondeur d'abrasion des bétons selon kumar et al.

Dans un béton avec des granulats issue des déchets de pneus Kang et al.[8] ont constaté que la résistance à la compression diminue, mais la résistance à l'abrasion augmentée. En remplaçant les granulats par des déchets de pneus usagé, les auteurs de la recherche ont observé que la résistance à la compression des bétons, diminue proportionnellement avec l'introduction des déchets. Par contre la résistance à l'abrasion augmentée à fur et à mesure (Figure I.19).

L'excellente résistance à l'abrasion du béton caoutchouté peut résulter de ses performances en termes d'absorption d'énergie, de ténacité et de résistance à la fissuration. La réduction de l'énergie d'impact réduit la destruction de la force de liaison de la pâte de ciment et retarde l'exposition des granulats. De plus, le caoutchouc granulé ajouté améliore la résistance à la fissuration du béton, ce qui est bénéfique pour la résistance à l'abrasion du béton. Pour ceci, le béton caoutchouté présente une bien meilleure résistance à l'abrasion que le béton sans caoutchouc.

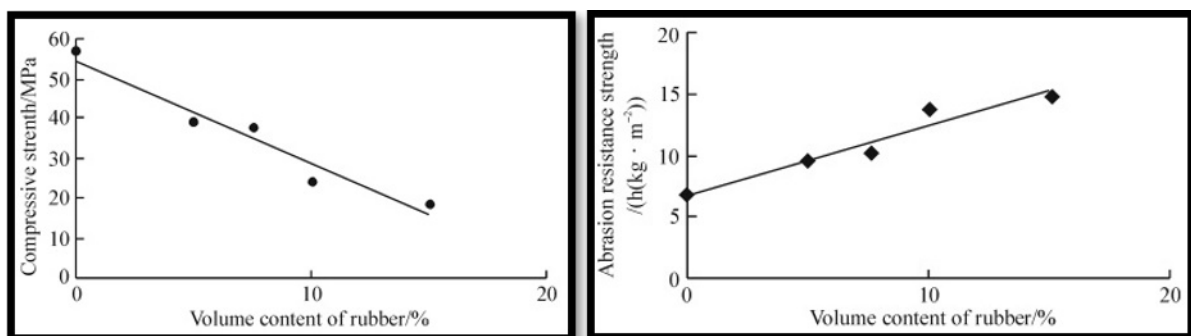


Figure I.19. Résistance à la compression (à droite), résistance à l'abrasion (à gauche) des bétons caoutchoutés selon kang et al.

Chapitre2

Valorisation des granulats recyclés dans les bétons

Chapitre II

Valorisation des granulats recyclés dans les bétons

II-1-Introduction

Les déchets de toutes sortes sont un problème environnemental majeur qui doit être traité au plus vite, en raison de leurs effets sur le plan sanitaire et économique.

II-2- Définition

Étymologiquement, déchet vient du verbe déchoir, qui en latin signifie « cadere » (tomber). La racine« dis » traduit l'éloignement et la séparation. Un déchet veut dire donc un bien que son propriétaire destine à l'abandon[9].

Dans ses activités les plus lointaines, les déchets de l'homme se limitaient à des restes organiques dégradés dans la nature. C'est en augmentant sa technicité et son équipement, ainsi que la concentration de population, que les déchets ont devenus visibles et envahissants.

Depuis plusieurs années l'état algérienne produit des lois afin d'optimiser la gestion et la réduction des effets négatifs des différents types déchets sur la santé humaine et l'environnement.

Selon la loi N° 01/19 décembre 2001 dans son article 3[10],« 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.»

II-3-Les différents types de déchets

A travers les définitions citées ci-dessus, les déchets peuvent être classés en plusieurs catégories :

II-3-1-Déchets ménagers et assimilés

Tous déchets issus 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.

Les déchets ménagers et assimilés regroupent : les ordures ménagères résiduelles, les déchets ménagers collectés séparément, les déchets des activités économiques collectés par le service public (Figure II-1).



Figure II.1. Déchets ménagers et assimilés.

En Algérie, selon l'Agence National des Déchets[11], La matière organique enregistre depuis 1980, une baisse au profit d'autres produits d'emballages comme les papiers et cartons, les plastiques et l'apparition de textiles sanitaires (Figure II-2).

Selon l'Algérie Presse Service dans son article apparu le 24 février 2021[12], la quantité des déchets ménagers et assimilés en Algérie, estimée à 13 millions de tonnes en 2018, devra dépasser les 20 millions de tonnes en 2035. Le rapport sur la stratégie nationale à l'horizon 2035 (SNGID 2035), indiquait que la production des déchets ménagers et assimilés passera de 0.8 Kg/hab/jour en 2016 à plus de 1.23 kg /hab/jour en 2035. Par ailleurs, l'Agence nationale des déchets (AND) estime que la valeur marchande potentielle du gisement des déchets recyclable pourrait atteindre plus 90 milliards de DA par an.

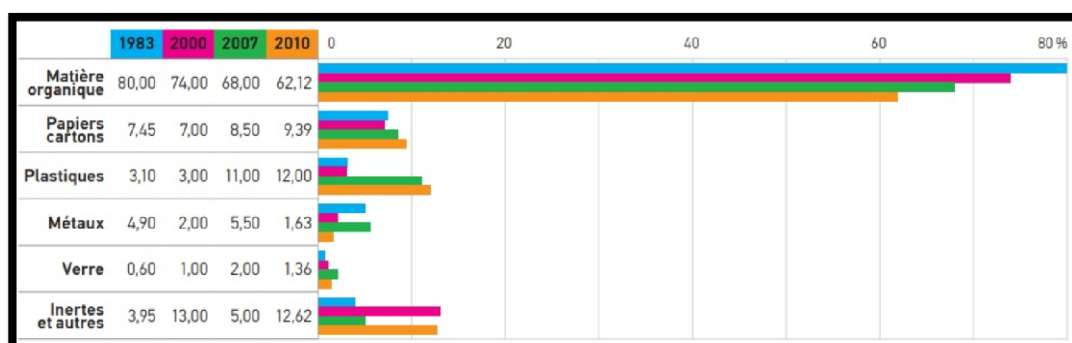


Figure II.2. Evolution de la production des déchets ménagers et assimilés en Algérie.

II-3-2-Déchets encombrants

Tous déche tissus des ménages qui en raison de leur caractère volumineux ne peuvent être collectés dans les mêmes conditions que les déchets ménagers et assimilés, comme les meubles(Figure II-3), l'électroménager, les pneus et même les carcasses automobiles.



Figure II.3. Déchets encombrants.

Chapitre2 :valorisation des granulats recyclés dans les bétons

Dans une étude réalisée par Chaouch et al.[13] dans les plages d'Annaba (de S1 à S10), ils montrent que les verres et les métaux viennent en première position avec respectivement 32.84% et 32.53 % puis on a les plastiques avec 14.17%, les bois et dérivés 13.88 %, les diverses structures en papier avec 3.32% et enfin les textiles avec 3.26% (Figure II-4).

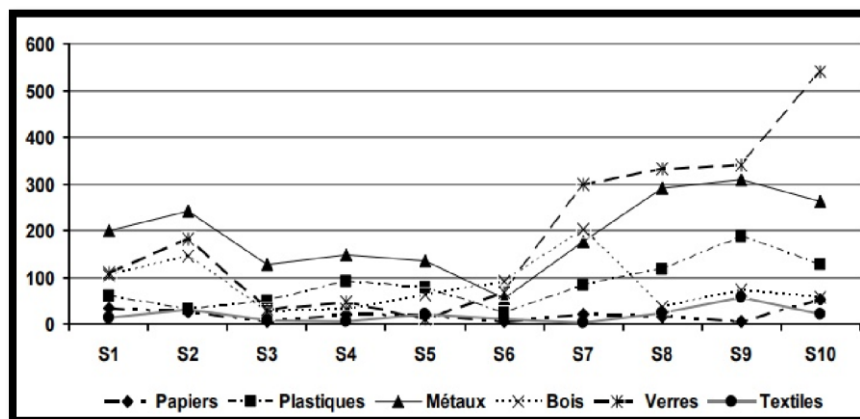


Figure II.4. Quantité de déchets (en Kg) dans les 10 plages de baignade d'Annaba.

II-3-3-Déchets spéciaux

Tous déchets issus des activités industrielles (Figure II-5), 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, par exemple les acides, peintures, diluants, bombes aérosols, etc.



Figure II.5. Déchets spéciaux.

Ci en prend comme exemple les batteries usagées et les filtres à l'huile, en peut lire dans le rapport de l'AND(Agence nationale des déchets) qu'en 2018 la quantité de batteries usagées collectées est 62467 tonnes (Figure II-6)[14], les filtres à l'huile l'agence à collectée 10693 tonnes.

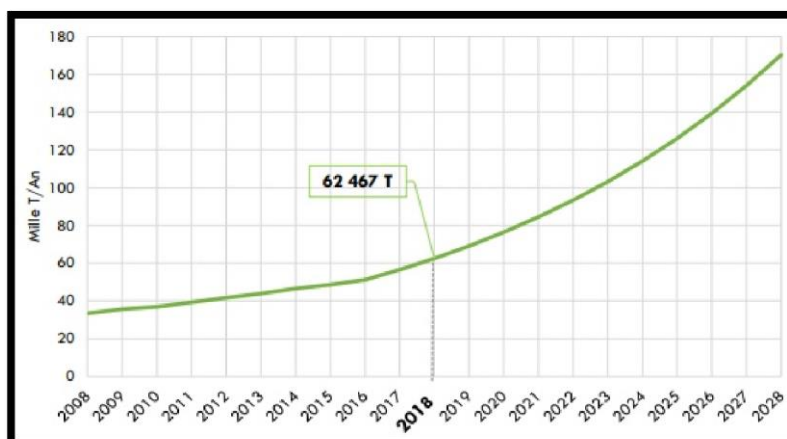


Figure II.6. Evolution quantitative des batteries usagées à l'échelle nationale.

II-3-4-Déchets spéciaux dangereux

Tous 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(Figure II-7).



Figure II.7. Déchets spéciaux dangereux.

II-3-5-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(Figure II-8).



Figure II.8. Déchets d'activité de soins.

En Algérie, Les différents établissements hospitaliers, ont générés plus de 14700 tonnes de déchets d'activités de soins à risques infectieux (DASRI)[15]. Les établissements publics hospitaliers, ont générés à eux seuls près de 14 100 Kg/mois (Figure II-9).

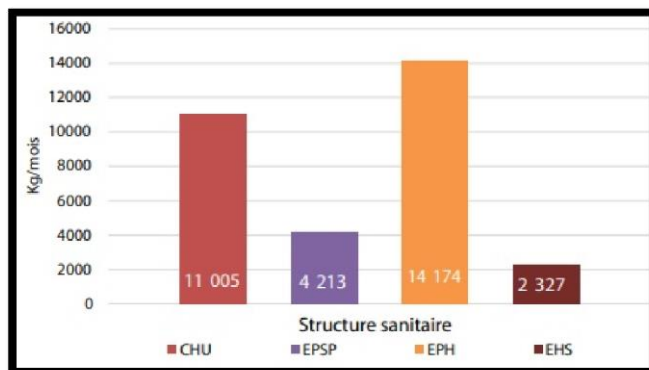


Figure II.9. Quantité de DASRI produite à l'échelle nationale en 2018.

II-3-6-Déchets inertes

Tous déchets provenant notamment de l'exploitation des carrières, des mines, des travaux de démolition(Figure II-10), 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.



Figure II.10. Déchets inertes.

II-4-Gestion des déchets

La gestion des déchets est toute opération relative à la collecte, au tri, au transport, au stockage, à la valorisation et à l'élimination des déchets, y compris le contrôle de ces opérations.

*Collecte des déchets : Est le ramassage et/ou le regroupement des déchets en vue de leur transfert vers un lieu de traitement.

*Tri des déchets : C'est toutes les opérations de séparation des déchets selon leur nature en vue de leur traitement.

Chapitre2 :valorisation des granulats recyclés dans les bétons

*Traitement des déchets : Toute mesure pratique permettant d'assurer que les déchets sont valorisés, stockés et éliminés d'une manière garantissant la protection de la santé publique et/ou de l'environnement contre les effets nuisibles que peuvent avoir ces déchets.

*Valorisation des déchets : sont toutes les opérations de réutilisation, de recyclage ou de compostage des déchets.

*Elimination des déchets : toutes les opérations de traitement thermique, physico-chimique et biologique, de mise en décharge, d'enfouissement, d'immersion et de stockage des déchets, ainsi que toutes autres opérations ne débouchant pas sur une possibilité de valorisation ou autre utilisation du déchet.

II-5-Valorisation des déchets en génie civil

II-5-1-Le laitier de hauts fourneaux

Les déchets dans le génie civil, tels que le laitier, sont un problème environnemental important qui nécessite une gestion appropriée. Le laitier est un sous-produit de la production de fer et d'acier et est souvent utilisé comme matériau de construction dans les projets de génie civil.

Cependant, si le laitier n'est pas géré correctement, il peut entraîner des effets néfastes sur l'environnement. Les principales préoccupations sont la libération de substances toxiques dans le sol et les eaux souterraines, ainsi que la contamination de l'air par la poussière de laitier.

Pour minimiser les impacts du laitier, il est important de mettre en place des mesures de gestion adéquates. Celles-ci peuvent inclure le stockage et le transport du laitier dans des zones spécifiques, l'utilisation de matériaux de construction alternatifs.

L'influence de l'incorporation de différents pourcentages de laitier de hauts fourneaux comme substitut du sable fin dans le mortier a été étudié par Patra & Mukharjee[16] en 2017. Ils constaté une réduction de l'affaissement avec l'augmentation du pourcentage de substitution. Cette diminution de l'ouvrabilité du béton est attribuée au fait que l'absorption d'eau du laitier (GBS) est plus élevée que celle des granulats fins naturels. De plus, la texture de surface rugueuse et la capacité d'absorption d'eau améliorée du laitier contribuent principalement à l'impact négatif sur la maniabilité des mélanges de béton. On peut également observer que les mélanges de béton sont utilisables jusqu'à un niveau de remplacement de 40 %. Après un niveau de remplacement de 40 %, la maniabilité du béton est considérablement affectée (Figure II-11).

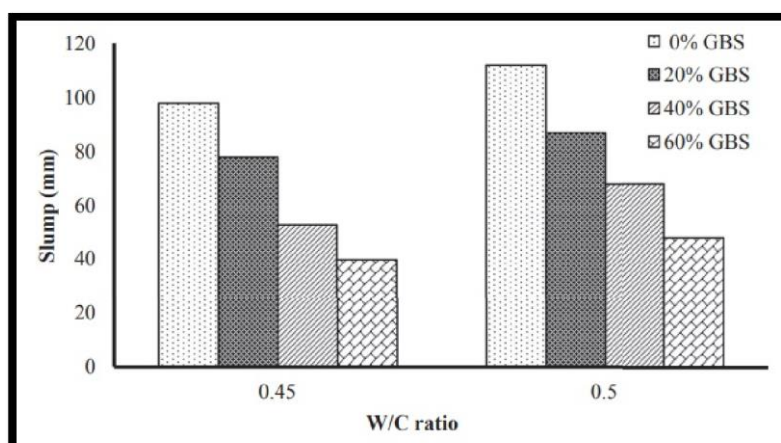


Figure II.11. Affaissement des bétons élaborés selon Patra & Mukharjee.

La résistance à la compression augmentait de la même façon selon la figure II.12, mais avec des cinétiques différentes. Cette augmentation de la résistance à la compression avec le temps est attribuée à l'augmentation de l'activité pouzzolanique du laitier, qui renforce le béton avec la formation de gel C-S-H secondaire.

La réaction du laitier en combinaison avec du ciment Portland ordinaire est une réaction en deux étapes. Initialement et au début de l'hydratation, la réaction prédominante s'est avérée être avec l'hydroxyde alcalin, cependant, la réaction suivante était principalement avec l'hydroxyde de calcium. L'activité hydraulique du laitier contribue au développement de la résistance et la présence de C3S, C2S, C4AF et C2F confirme les propriétés cimentaires du laitier. Le laitier peut être considéré comme un clinker de ciment faible.

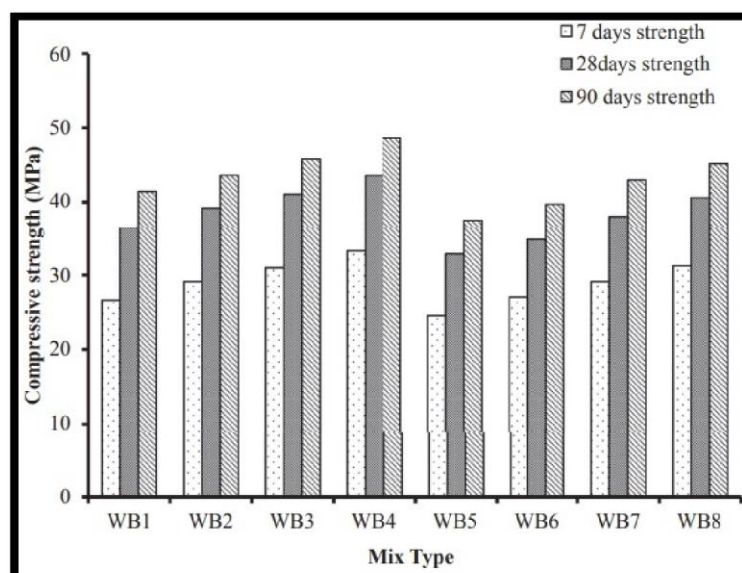


Figure II.12. Résistances à la compression des bétons élaborés selon Patra & Mukharjee.

II-5-2-Le verre

Le verre (Figure II.13) est un matériau qui peut être recyclé à 100 % et utilisé dans de nombreux projets de génie civil. Dans le domaine de la construction, le verre peut être recyclé et utilisé pour fabriquer des produits tels que des revêtements de sol, des blocs de verre pour murs, des dalles de pavage, des trottoirs et des terrains de sport.

Chapitre2 :valorisation des granulats recyclés dans les bétons

Les déchets de verre provenant de la construction peuvent être collectés et triés selon leur couleur, leur composition et leur forme. Les déchets de verre recyclables sont ensuite nettoyés, broyés et fondus pour créer de nouveaux produits en verre.

Le verre recyclé peut également être utilisé pour remplacer d'autres matériaux de construction tels que le béton, l'asphalte et la brique. En plus d'être écologique, l'utilisation de verre recyclé dans les projets de génie civil peut également réduire les coûts de construction.



Figure II.13. Déchets de bouteille en verre.

Dans les produits cimentaires les déchets de verre, sont souvent valorisés par les chercheurs. Rashid et al. [17] ont incorporés les déchets de verre (GW) en remplacement partiel des granulats grossiers dans le béton. Avec des remplacements de 10,20et30%, la valeur d'affaissement a été réduite de 9,1 % lorsque le remplacement a atteint 30 %. Cette réduction de l'ouvrabilité était due à la forme allongée du GW, ce qui a résisté à la fluidité du béton frais, au caractère écaillé du GW et une mauvaise adhérence entre le granulat GW et les autres constituants du béton entraînant une maniabilité amoindrit (Figure II.14).

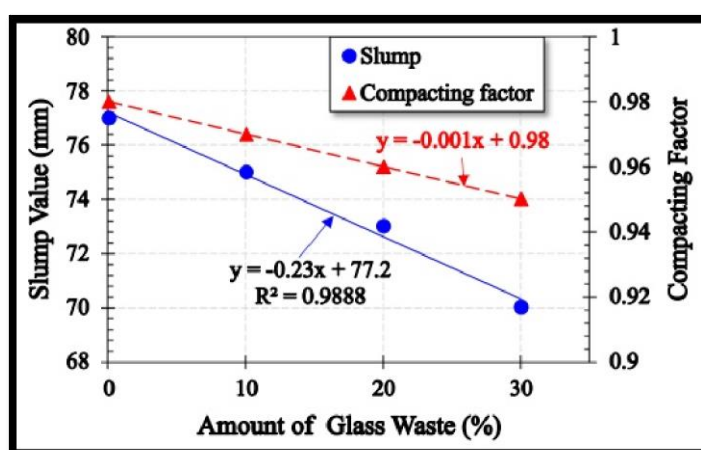


Figure II.14. Affaissement des bétons à déchets de verre selon Rashid et al.

La résistance à la compression augmentait à des tendances similaires mais avec une diminution de valeurs (Figure II.15). Plusieurs facteurs ont été proposés pour expliquer la réduction de la résistance du béton avec des proportions élevées de GW. Une porosité élevée dans l'interface granulat-matrice et des fissures aux particules de verre, la surface lisse des GW et l'absorption d'eau très limitée.

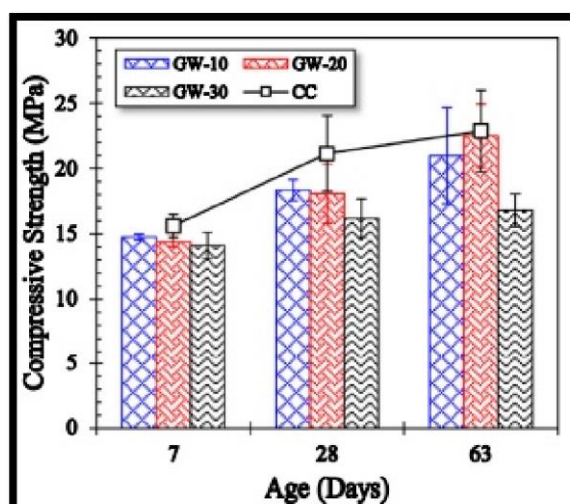


Figure II.15. Résistances à la compression des bétons à déchets de verre selon Rashid et al.

Rashid et al. ont proposé un diagramme schématisé (Figure II.16) pour décrire toutes les raisons de réduction pour les deux types de béton. Pour les granulats conventionnels entourés de pâte de ciment hydraté, une forte interaction entre le granulat grossier et la matrice est observée en raison de l'ancrage mécanique, du taux d'absorption d'eau plus élevé et de la surface rugueuse de par rapport au GW.

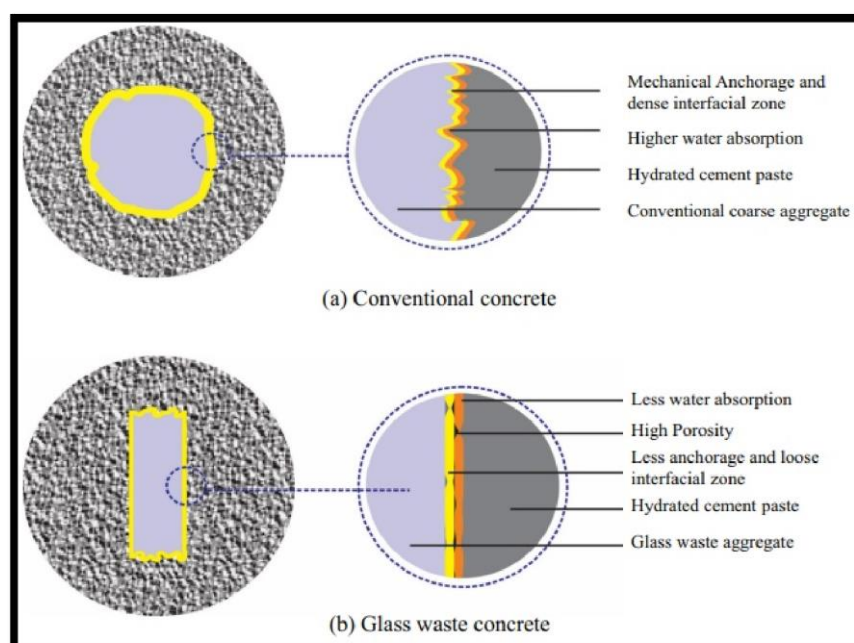


Figure II.16. Représentation schématique de l'ITZ des bétons utilisés selon Rashid et al.

II-5-3-Les pneus usagés

Les pneus usagés (Figure II.17) sont l'un des déchets les plus courants dans le domaine de l'ingénierie civile. Ils peuvent être recyclés et réutilisés dans de nombreux projets de construction, tels que les revêtements de sol, les murs antibruit, les terrains de sport et les ponts.

Le recyclage des pneus usagés dans le génie civil peut aider à réduire les coûts de construction tout en préservant l'environnement. Les pneus sont broyés en petits morceaux et

Chapitre2 :valorisation des granulats recyclés dans les bétons

utilisés comme matériau de rappel pour les routes et les terrains de sport. Ils peuvent également être utilisés pour fabriquer des couches de drainage pour les terrains de golf ou les parcs.



Figure II.17. Collecte des pneus usagés

Principalement, il existe deux manières d'ajouter des granulats de caoutchouc au béton, Soit directement par rapport au poids ou au volume de béton, ou en substituant des granulats de béton en poids et en volume. Étant donné que la densité des granulats naturels dans le béton est d'environ 2.5 fois celle du caoutchouc, cela signifie que si la substitution de poids est utilisée pour remplacer le caoutchouc dans les granulats, le volume du mélange résultant sera beaucoup plus élevé que celui d'origine. D'un point de vue pratique, le remplacement volumique des granulats naturels de béton par des granulats de caoutchouc est plus adapté.

La figure II.18, tirée du travail de Hadzima-Nyarko et al.[18] montre l'influence du remplacement partiel ou total (en pourcentage) des granulats par des déchets de caoutchouc sur la résistance à la compression.

L'ajout de granulats de caoutchouc entraîne une diminution de la résistance à la compression du béton, et cette diminution devient plus importante à mesure que la proportion de granulats de caoutchouc dans le mélange augmente.

Les raisons de cette observation sont multiples. Le granulat de caoutchouc est nettement plus mou que le granulat naturel. Ainsi, lorsque les granulats naturels sont remplacés par des granulats de caoutchouc, le matériau porteur de charge dans le mélange est réduit, ce qui entraîne une diminution de la résistance à la compression. De plus, les particules de caoutchouc, moins rigides que les granulats naturels, peuvent être considérées comme des vides dans le mélange de béton.

En raison du décalage élastique, lors du chargement, des fissures sont initialisées autour du granulat de caoutchouc et se développent rapidement autour des particules de caoutchouc, se dilatant rapidement dans toute la matrice, provoquant une rupture accrue dans le béton.

En plus, la nature non polaire des granulats de caoutchouc, fait que l'air est capturé à la surface et provoque une grande incohérence entre les agrégats de caoutchouc et le ciment environnant.

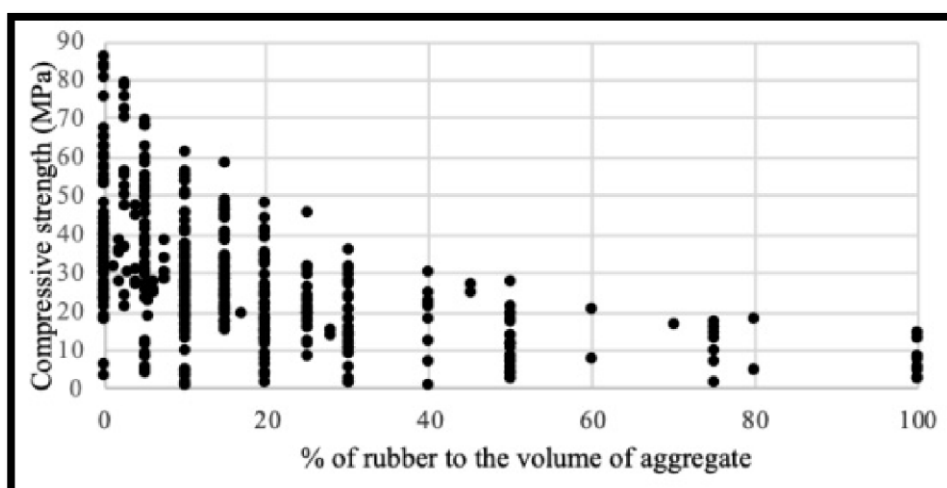


Figure II.18. Résistance à la compression des bétons en granulats caoutchouc selon Hadzima-Nyarko et al.

II.6. Valorisation des déchets céramique dans les bétons

En raison de la forte consommation de granulats, il existe une pénurie critique de granulats naturels pour la production de béton dans de nombreuses zones urbaines, ainsi qu'une quantité croissante de déchets de générés. Une solution à ces problèmes pourrait être le recyclage des déchets, générant des granulats recyclés et leur utilisation dans l'industrie de la construction elle-même, comme matériau alternatif.

La céramique sanitaire est l'une de ces déchets de construction ou de démolition. Sa réutilisation ou valorisation comme granulats dans le béton est une voie de plus en plus prospectée.

Pitarch et al.[19] ont été utilisés des sanitaires en céramique (CSW) en remplacement partiel (14 à 30 % en poids) des granulats naturels pour produire du béton ordinaire.

La densité des bétons CSW diminue avec l'augmentation du remplacement comme indiqué au tableau II.1. La densité du béton suit la densité des granulats, elle descend de 2.78 pour les graviers naturels à 2.28 pour les graviers en céramique. De plus, La substitution des granulats naturels en poids, implique un plus grand volume de granulats recyclés, donc de béton à densité réduite.

La résistance à la compression des bétons CSW étaient presque similaires à celles du béton référence. Elles diminuent avec le temps de cure et la substitution. En constate une perte de résistance maximale de 5,77 % pour le remplacement à 30 % en poids.

Tableau II.1. Propriétés physiques des bétons selon Pitarch et al.

Concrete mix	Density (kg/m ³)	Compressive strength (MPa)	
		7 days	28 days
RC	2510 ± 2.85	31.51 ± 0.99	37.80 ± 1.79
CSW14	2450 ± 2.91	31.37 ± 1.13	36.58 ± 0.59
CSW20	2445 ± 4.73	30.40 ± 0.04	35.72 ± 0.37
CSW30	2428 ± 5.18	31.02 ± 0.39	35.62 ± 1.07

Chapitre2 :valorisation des granulats recyclés dans les bétons

Cette perte de résistance observée avec l'augmentation des teneurs en CSW a été attribuée à l'indice de forme des particules (SI) élevé, à la forme angulaire, à la surface lisse et à l'absorption d'eau réduite de ces particules de céramique. Alors que les deux premiers paramètres rendent difficile le compactage des granulats, les deux derniers sont censés réduire l'adhérence mécanique entre les particules de CSW et la pâte liante.

Guerra et al.[20] ont observé le contraire. Lors de la substitution des gros granulats par des granulats de céramique sanitaire, la résistance à la compression augmentée comme indiquée au tableau II.2. Cette augmentation est due peut-être au petit pourcentage de substitution, qui est de l'ordre de 3 à 9% seulement.

Tableau II.2. Résistance à la compression des bétons selon Guerra et al.

Samples	7 days	14 days	28 days
	Average resistance (f_{cm}) (MPa)	Average resistance (f_{cm}) (MPa)	Average resistance (f_{cm}) (MPa)
Control concrete	38.1	38.7	41.4
M 3	37.4	38.3	41.2
M 5	40.2	40.9	43.4
M 7	41.9	45.2	44.8
M 9	39.3	40.3	45.2

Medina et al.[21] Trouvèrent aussi la même augmentation dans leur travail. La substitution est faite dans la catégorie des gros granulats (4-12.5mm) à hauteur de 15, 20 et 25% et un rapport E/C croissant de 0.52 pour le béton à granulat naturel à 0.55 pour le béton à 25% de substitution (Figure II.19).

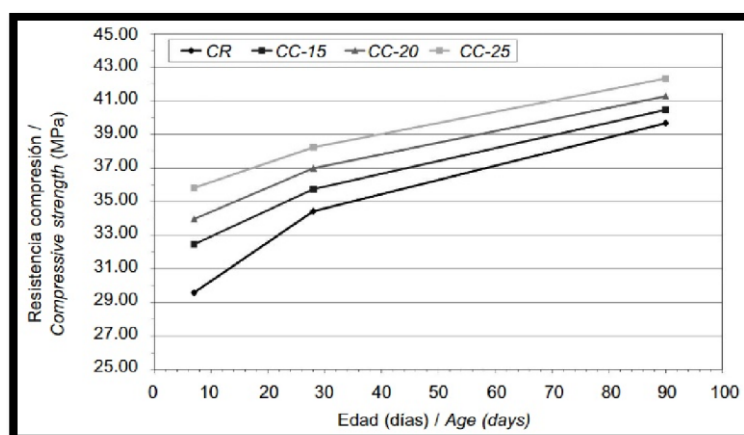


Figure II.19. Résistance à la compression des bétons à céramique sanitaire selon Medina et al.

Dans une autre étude Medina et al.[22] trouvèrent la même évolution de la résistance à la compression. L'augmentation des résistances a été attribuée aux propriétés intrinsèques (forme, coefficient de Los Angeles...) des granulats céramiques et leurs effets sur la zone de transition inter faciale (ITZ). Remarquons ici que ces bétons enregistrent des affaissements de 6 à 9 cm, mais avec la diminution de la masse du ciment comme indiqué au tableau II.3.

Chapitre2 :valorisation des granulats recyclés dans les bétons

Tableau II.3. Les dosages des bétons élaborés selon Medina et al.

Concrete mix	Material (kg/m ³)				
	Sand	Gravel	Ceramic	Cement	Water
Reference concrete (RC)	717	1116	0	398	205
Concrete with 20% recycled aggregate (CC-20)	726	893	216	388	205
Concrete with 25% recycled aggregate (CC-25)	728	837	271	385	205

Canbaz[23]a constaté une augmentation des valeurs d'affaissement, lorsque le taux de déchets de granulats céramique augmenté. Cette augmentation était de 12 % lorsque le taux de substitution était de 25 %. Elle atteignait 20 % lorsque les déchets de céramique étaient entièrement utilisés à la place des granulats naturels comme indiqué à la figure II.20.

Cette augmentation est due à une moindre surface exposée dans les déchets de céramique concassés que la pierre concassée. Ainsi, sa surface était entièrement recouverte de couches d'eau plus élevées. Cette situation avait conduit à une augmentation de la consistance et donc des valeurs d'affaissement.

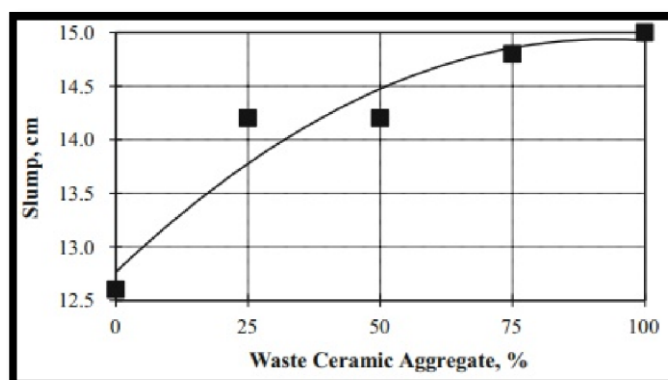


Figure II.20. Valeurs d'affaissement des bétons selon Canbaz.

La vitesse d'impulsion ultrasonique (UPV) des bétons, a été réduite de 5 % dans ce travail (Figure II.21). Les déchets de céramique concassés étaient plus amorphes que la pierre concassée, ce qui affectait la maniabilité et avec le surplus des pores les bétons en céramique avaient un taux d'UPV réduit. Dans la même figure en remarque que les poids unitaires des bétons durcis ont considérablement diminué avec l'introduction des déchets céramiques car, la densité des déchets de céramique était inférieure à la densité de la pierre concassée.

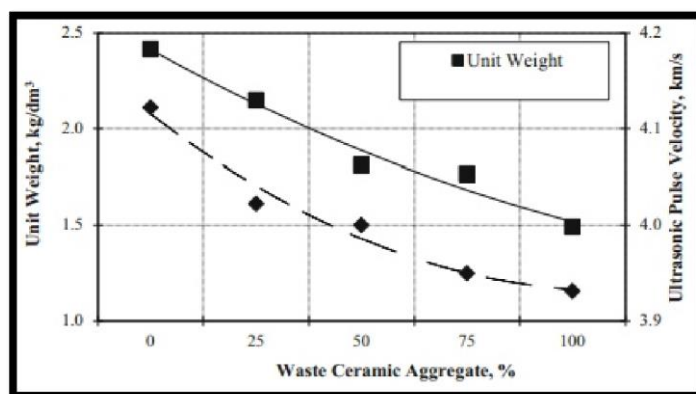


Figure II.21. Valeurs d'affaissement des bétons selon Canbaz.

En utilisant que des granulats de déchets céramiques avec deux différents ciments, Ogrodnik et al.[24] ont constaté que la résistance à la compression de la série contenant des granulats céramiques et du ciment d'aluminate de calcium avait est meilleur que l'autre série avec du ciment portland comme indiqué à la figure II.22. En remarque que la différence de résistance n'est que d'environ 2 MPa à température ambiante. Plus la température de traitement est élevée, plus la résistance à la compression est faible.

Les bétons contenant du ciment d'aluminate de calcium sont caractérisés par la variabilité de la teneur en minéraux, qui est l'effet de la progression du processus d'hydroxylation des surfaces en phase cimentaire accompagnée de la libération d'ions calcium et aluminium. Après dépassement de l'équilibre de solubilité de ces composés, de nouvelles phases commencent à cristalliser, tandis que les hydroxydes d'aluminium se transforment de formes de gel en formes de plus en plus ordonnées. La formation de nouvelles phases diminue considérablement la quantité de pores. Dans le cas des bétons au ciment Portland, le processus de calcination provoque une déshydratation et une dés hydroxylation des phases hydratées qui libèrent de la vapeur d'eau dans les pores et génèrent des surpressions conduisant à la fissuration de la matrice qui diminue directement les propriétés mécaniques de ces bétons.

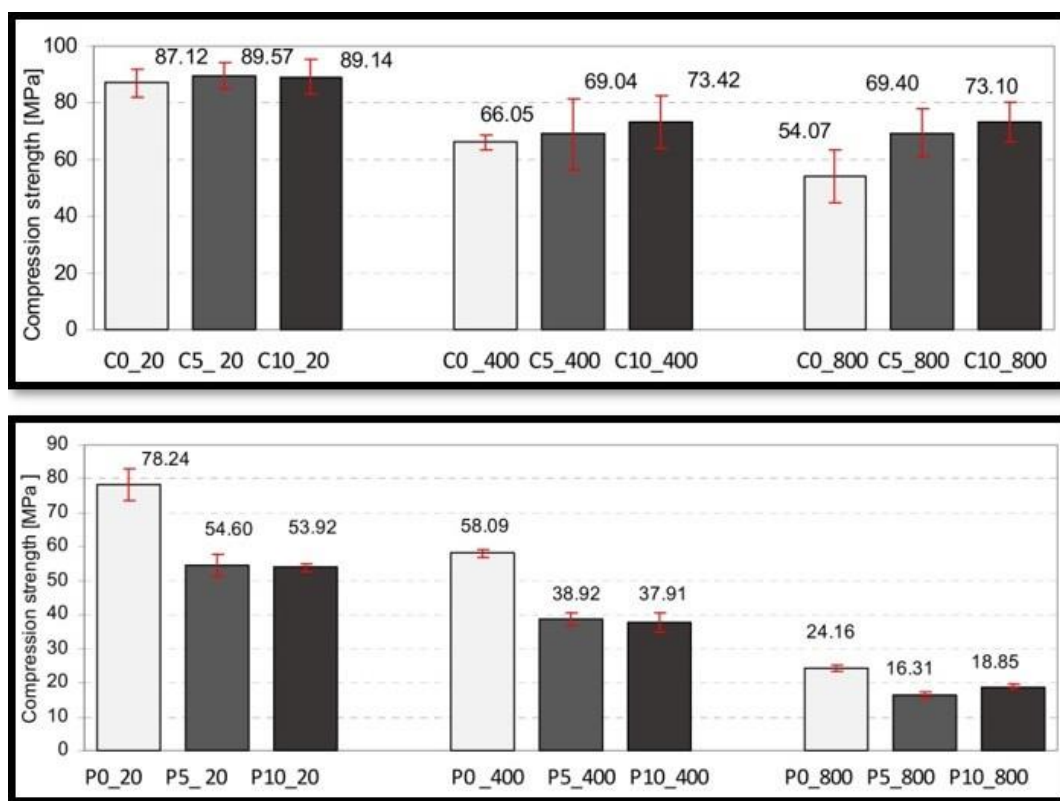
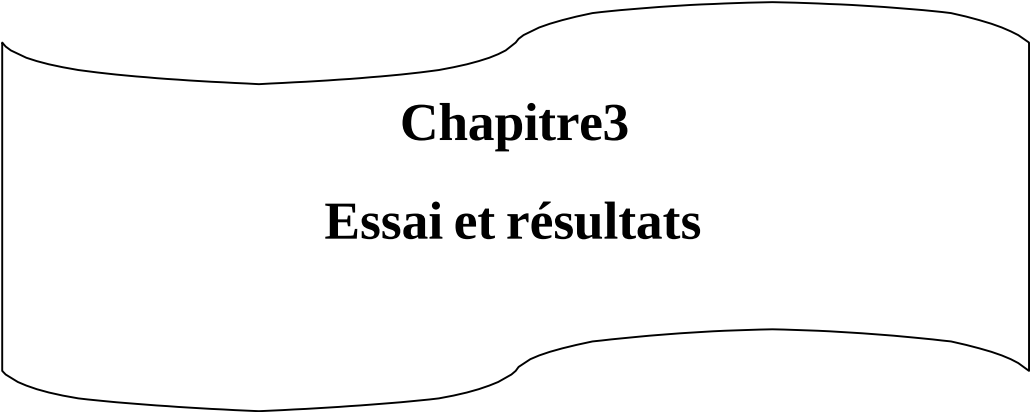


Figure II.22. Résistances à la compression des bétons à ciment alumineux (en haut) et portland (en bas) selon Ogrodnik et al.



Chapitre3

Essai et résultats

CHAPITRE III

Essai, résultats et discussion

III.1.Introduction

Le béton est un matériau de construction composite. Il est élaboré par un liant et une fraction granuleuse constituée de sable et des granulats de différente taille.

Dans ce chapitre, un béton ordinaire est formulé grâce à la méthode Dreux-Gorisse. Cette méthode simple est basée sur la connaissance des courbes granulométriques des constituants afin de les réduire en une seule courbe. Notre étude est basée sur l'effet que peut engendrer le remplacement de la fraction graveleuse 3/8 naturelle par des graviers issus des déchets de type céramique sanitaire.

III.2-Les matériaux utilisés

Le choix des matériaux s'est porté sur leur disponibilité dans la région de M'sila. Ils sont comme illustrée sur la figure III.1 :

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



Figure III.1.Les différents matériaux utilisés.

Caractérisation des matériaux utilisés

Le sable

La masse volumique (NF P 18-555)

La masse volumique absolue est la masse par unité de volume sans tenir compte des vides. On détermine la masse volumique absolue des granulats (Figure 1) à l'aide du récipient de capacité 1000 ml. On verse « $V_e=150$ ml » d'eau sur 300g de sables. Après malaxage est remuage, on détermine le volume final occupé par le mélange sable-eau, soit « V_m ».

Le volume du sable est : $V_s = V_m - V_e$ et la masse volumique absolue du sable est déterminée par la formule : $\rho = M/V_s$, comme reporté sur le tableau III.1



Figure III.2. Eprouvette graduée pour masse volumique absolue du sable

Tableau III.1. Masse volumique absolue du sable de dune.

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	

La masse volumique apparente à l'état l'ache est la masse des grains qui composent le matériau avec les vides qui peuvent exister à l'intérieur. On détermine la masse volumique apparente du sable à l'aide d'un entonnoir standardisé (Figure III.2) de capacité 2 à 2.5 litres. On remplit l'entonnoir avec du sable sec, soit « M_1 ». On place un récipient de volume « $V_r = 900\text{cm}^3$ » sous l'entonnoir à une distance de 10 à 15 cm et on le remplit avec du sable. Une fois le récipient rempli, on nivelle la surface du sable et on pèse le tout. Soit « M_2 » ce poids.

La masse volumique apparente (Tableau III.2) du sable est donnée par la formule suivante:

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



Figure III.3. Détermination de la masse volumique apparente

Tableau III.2. Masse volumique apparente sable.

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	

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

La porosité est une grandeur physique définie comme le rapport entre le volume des vides et le volume total d'un milieu poreux, sa valeur est comprise entre 0 et 1 (ou, en pourcentage, entre 0 et 100 %). Elle est déterminée par la formule suivante :

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

La compacité est le quotient du volume absolu d'un matériau par son volume total apparent ou en vrac. C'est le complément de la porosité.

$$C = \frac{p_{app}}{p_{abs}} = 100 - p$$

L'indice des vides est le taux de vide d'un mélange. C'est le rapport du volume de vides au volume de solides.

$$e = \frac{V_v}{l_s} = \frac{p}{100 - p}$$

Les résultats de ces caractéristiques sont regroupés dans le tableau III.3 :

Tableau III.3. Porosité, compacité et indice des vides.

Porosité P (%)		Compacité C (%)		L'indice des vides E	
Lâche	Compact	Lâche	Compact	Lâche	Compact
43,24	15,13	56,76	84,87	0,76	0,17

Teneur en eau NF P 18-555

La teneur en eau d'un matériau est le rapport du poids d'eau contenu dans un matériau comparativement au poids du même matériau sec (Tableau III.4). Pour déterminer la teneur en eau, on pèse un échantillon de sable humide « $M_h = 500\text{g}$ » et on le laisse dans une étuve pendant 24 heures. A la fin on pèse l'échantillon de nouveau, soit « M_s » son poids. La teneur en eau du sable est :

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

Tableau III.4. Teneur en eau de sable utilisé.

N° d'essai	$M_h(\text{g})$	$M_s(\text{g})$	W (%)	Moyenne
1	500	498	0.40	0.47
2	500	497	0.60	
3	500	498	0.40	

Degré d'absorption d'eau NF P 18-555

C'est le pouvoir d'un matériau d'absorber et de retenir l'eau (Tableau III.5), elle est définie selon la formule suivante :

$$A\% = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100$$

M_1 : la masse du matériau sec en (g).

M_2 : la masse du matériau saturé d'eau superficiellement sec en (g).

Tableau III.5. Degré d'absorption d'eau du sable.

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

Analyse granulométrique NFP18-560

L'analyse granulométrique est la mesure de la taille des particules solides primaires provenant du sol et des sédiments. Les différentes tailles de particules sont déterminées soit par leur capacité à passer à travers différents tamis à mailles (Figure III.4) ou le refus de celle-ci.



Figure III.04. Analyse granulométrique du sable.

Pour arriver à notre fin, on pèse 1000g de sable sec. On verse cette quantité sur la série de tamis préalablement pesé « m_i ». Après l'agitation mécanique de la série de tamis on pèse de nouveau les tamis avec le refus de sable accumulé sur chaque tamis « M_i ».

On pèse le refus cumulé pour deux tamis, trois tamis est ainsi de suite. Jusqu'à l'obtention du tableau III.6.

Tableau III.6. Analyse granulométrique du sable de dune

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

Module de finesse

C'est un facteur très important, qui nous permet de juger la grosseur du sable, il est exprimé par le rapport de la somme des refus cumulés des tamis de mailles :

(0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5).

$$Mf = \frac{Re}{100}$$

$M_f = 2.24$ est d'un sable Moyen.

Chapitre 3 : Essai, résultats et discussion

Equivalent de sable NF P 18-598

Il caractérise la propreté d'un granulat et indique la teneur en éléments fins, d'origine essentiellement argileuse, végétale ou organique à la surface des grains. Afin d'avoir l'équivalent de sable visuel et au piston, on commence par peser 150g sable. On remplit l'éprouvette de solution la vante jusqu'au premier repère (10cm) et on verse la prise d'essai dans l'éprouvette. Après la chasse d'eau on laisse reposer pendant 10 minutes. On ferme l'éprouvette à l'aide du bouchon en caoutchouc et on lui imprimer 90 cycles de cours horizontale en 30 secondes à l'aide d'un agitateur mécanique (Figure III.5).

On rince de nouveau avec la solution la vante jusqu'au 2^{ème} repère en imprimant en même temps au tube un léger piquage. Cette opération a pour but de laver le sable et de faire monter les éléments fins et argileux. Après repos de 20 minutes, on lit la hauteur « h₁ » du niveau supérieur de flocculant jusqu'au fond de l'éprouvette l'aide d'une règle et la hauteur « h₂ » comprise entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire et le fond de l'éprouvette.

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

Pour avoir l'équivalent de sable au piston on introduit le piston dans l'éprouvette et le laisser descendre doucement jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment. A cet instant on bloque le manchon du piston et sortir celui-ci de l'éprouvette.

Introduire le réglet dans l'encoche du piston jusqu'à ce que le zéro vienne buter contre la face intérieure de la tête du piston. Soit « h'₂ » la hauteur lue.

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



Figure III.5. Agitateur pour équivalent de sable.

Tableau III.7. Résultats obtenus pour l'équivalent de sable de dune.

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	

C'est un sable très propre l'absence totale de fines argileuses.

Chapitre 3 : Essai, résultats et discussion

Les granulats III.3.2.1.La

masse volumique

Idem que la norme utilisé pour le sable. Les résultats de la masse volumique absolue pour les trois fractions sont résumés au tableau III.8, III.9, III.10 et III.11.

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

N°d'essai G 3/8	M ₁	V _e (cm ³)	V ₁ (g)	ρ (g/cm ³)	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.9.Masse volumique absolue de gravier 8/16.

N° d'essai G 8/16	M ₁	V _e (cm ³)	V ₁ (g)	ρ (g/cm ³)	ρ moy(g/cm ³)
1	300	300	418	2,542	2,53
2	300	300	419	2,521	
3	300	300	420	2,521	

Tableau III.10.Masse volumique absolue de gravier 16/25

N° d'essai G 16/25	M ₁	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	

Tableau III.11.La masse volumique absolue du gravier céramique3/8.

N° d'essai G 3/8	M ₁	V _e (cm ³)	V ₁ (g)	ρ (g/cm ³)	ρ moy(g/cm ³)
1	300	300	430	2,30	2,33
2			430	2,30	
3			425	2,40	

Pour la masse volumique apparente les résultats sont regroupés aux tableau III.12, III.13, III.14 et III.15

Tableau III.12. Masse volumique apparente du gravier3/8.

Gravier 3/8	M ₁ [kg]	M ₂ [kg]	ρ_{app} [g/cm ³]	ρ_{moy} [g/cm ³]
1	2.922	13.90	1,56	1,54
2		13.53	1,51	
3		13.97	1,57	

Chapitre 3 : Essai, résultats et discussion

Tableau III.13. Masse volumique apparente gravier 8/16.

Gravier 8/16	M ₁ [kg]	M ₂ [kg]	ρ_{app} [g/cm ³]	ρ_{moy} [g/cm ³]
1	2,936	13,01	1,44	1,44
2	2,936	13,019	1,44	
3	2,936	13,031	1,44	

Tableau III.14. Masse volumique apparente gravier 16/25.

Gravier 16/25	M ₁ [kg]	M ₂ [kg]	ρ_{app} [g/cm ³]	ρ_{moy} [g/cm ³]
1	2,936	12,912	1,43	1,43
2	2,936	12,921	1,43	
3	2,936	12,931	1,43	

Tableau III.15. Masse volumique apparente des graviers 3/8 céramique.

Gravier 3/8 céramique	M ₁ [kg]	M ₂ [kg]	ρ_{app} [g/cm ³]	ρ_{moy} [g/cm ³]
1	115	1171	1,17	1,17
2		1173	1,17	
3		1186	1,19	

Porosité, compacité et indice des vides NF P 18-555

La même norme que pour les sables est suivie pour avoir ces caractéristiques pour les granulats grossiers (tableau III.16 et III.17):

Tableau III.16. Porosité, compacité et indice des vides des granulats naturels

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	0.82
16/25	45.21	54.79	0,87

Tableau III.17. Porosité, compacité et indice des vides des graviers 3/8 céramique

Porosité P (%)	Compacité C (%)	L'indice des vides E
49.78	50.22	0.99

Degré d'absorption d'eau

Les résultats obtenus en sont regroupés aux tableaux III.18 et III.19.

Chapitre 3 : Essai, résultats et discussion

Tableau III.18. Absorption d'eau des graviers naturels

Graviers	Essais	M humide (g)	M sech (g)	A%	Amoy (%)
3/8	1	506,1	500	1,22	0,8%
	2	502		0,4	
	3	504		0,8	
8/16	1	502	500	0,4	0,53%
	2	503		0,6	
	3	503		0,6	
16/25	1	1508	1500	0.53	0.49%
	2	1507		0.46	
	3	1507.4		0.49	

Tableau III.19. Absorption d'eau du gravier 3/8 céramique

Essais	M humide (g)	M sech (g)	A%	Amoy (%)
1	505	500	1	0,83%
2	503.5		0.7	
3	504		0,8	

Analyse granulométrique NF P18-560

Les résultats obtenus de chaque fraction du gravier, sont regroupés dans les tableaux III.20, III.21, III.22 et III.23.

Tableau III.20. Analyse granulométrique pour 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

Chapitre 3 : Essai, résultats et discussion

Tableau III.21. Analyse granulométrique pour gravier 8/16.

Tamis	Refus partielle	Refus cumulé (g)	Refus cumulé %	Tamisât %
16	57.8	57.8	1.80	98.20
12.5	660.1	717.9	22.30	77.70
10	1365.6	2083.5	64.7	35.30
8	954.9	3038.4	94.36	5.64
6.3	170.5	3208.9	99.66	0.34
Fond	9.5	3218.4	99.95	0.05

Tableau III.22. Analyse granulométrique pour 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

Tableau III.23. Analyse granulométrique pour gravier 3/8 céramique.

Tamis(mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
8	37	37	2.27	97.73
6.3	774	811	49.78	50.22
5	545	1365	83.3	16.21
4	155	1520	93.3	6.7
3.15	83	1603	98.4	1.6
2.5	20	1623	99.63	0.37
Fond	2	1625	99.75	0.25

Essai de résistance au choc NF P 18-573.

Cet essai renseigne sur la dureté des roches se basant sur un coefficient, appelé coefficient Los Angeles « LA », et sur le principe de l'effritement par abrasion.

L'essai consiste à mesurer la masse « m » d'éléments inférieurs à 1.6 mm, produits par la fragmentation du matériau testé (diamètres compris entre 4 et 50 mm) et soumis aux chocs de boulets normalisés, dans le cylindre de la machine Los Angeles en 500 rotations (figure III.6).



Figure III.6. Appareil de l'essai Los Angeles.

Pour calculer le coefficient LA, on soumet une masse initiale « M » à l'essai. A la fin on pèse la masse « m » des éléments inférieurs à 1.6 mm produits au cours de l'essai. La résistance à la fragmentation aux chocs s'exprime par le coefficient Los Angeles $LA = (m/M) \cdot 100$. Les résultats sont exprimés au tableau suivant III.24.

Tableau III.24. Essai Los Angeles de granulats

Granulats	Masse initiale (kg)	Masse finale (kg)	Coefficient LA (%)
Naturel	5	3637	27.26
Céramique	5	4011.3	19.77

On constate que les granulats naturels sont assez durs et les granulats céramiques sont durs.

Caractéristiques du ciment utilisé (CEMI MOUKAWIM)

Le ciment utilisé dans notre étude est un CEM I 42,5N-SR3 de la cimenterie Holcim Groupe M'sila. C'est un ciment gris résistant aux sulfates.

Eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée pour la confection des différents bétons, est l'eau potable du robinet.

Formulation du béton

Avec l'aide de la méthode de Dreux-Gorisse (Figure III.7) quatre (04) bétons ont été confectionnés. Un béton témoin nommé BT0 avec des granulats naturels et trois bétons BT10, BT20 et BT30 où on a substitué la fraction granulaire 3/8 par une fraction de même taille issue des déchets de céramique naturel à hauteur de 10, 20 et 30% en masse. Les quantités utilisées pour un mètre cube de béton sont représentées au tableau III.25

Tableau III.25. Formulation du béton pour 1m³

Eléments	Formulation pour 1 m3
Ciment	350
Sable de dune	624.2
Gravier 3/8	262.5
Gravier 8/16	560.2
Gravier 16/25	374.3
Eau	175

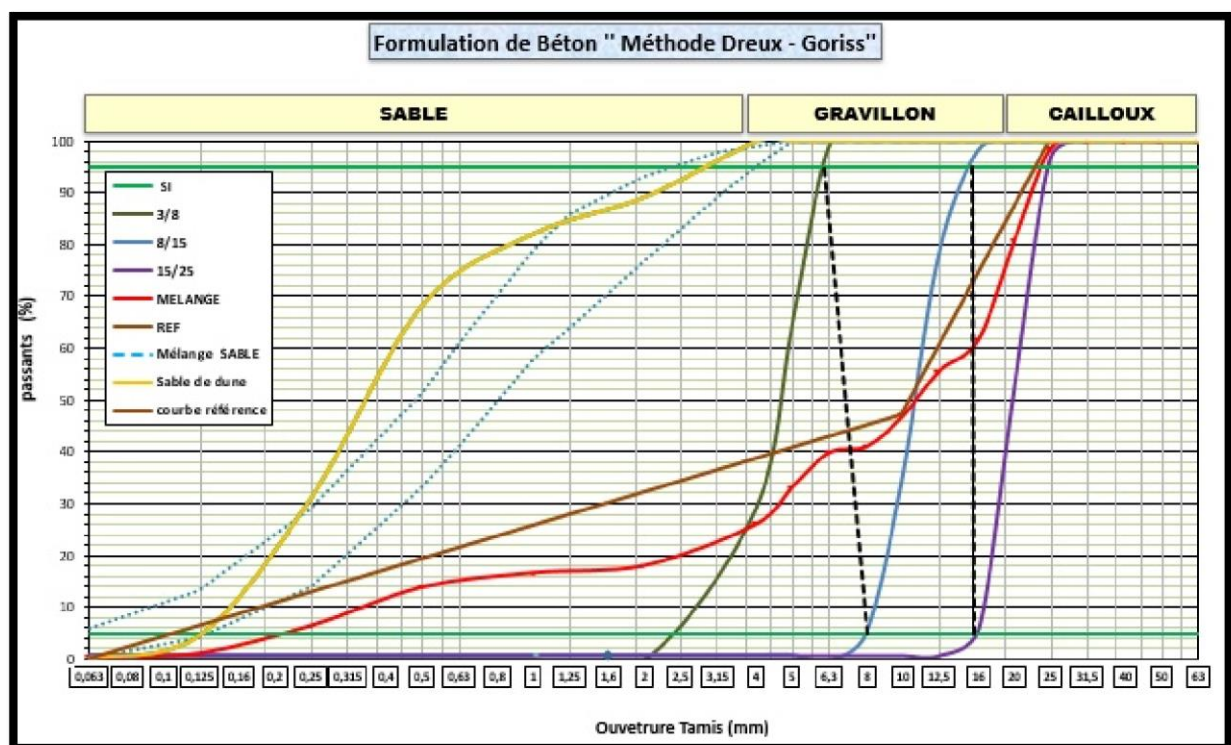


Figure III.7. Courbe de référence de Dreux-Gorisse.

Malaxage des bétons

La préparation des mélanges (Figure III.8) a été faite en respectant soigneusement les démarches normalisées. L'introduction des composants se fait par ordre décroissant de la finesse pour les graviers et le sable. Après un malaxage primaire des granulats, un deuxième malaxage,

Chapitre 3 : Essai, résultats et discussion

est effectué après l'introduction du ciment afin de répartir toute la quantité dans le malaxeur. A la fin, on ajoute de l'eau progressivement.



Figure III.8.Malaxage du béton.

Confection des éprouvettes

Pour les besoins de notre étude, on a utilisé des moules cubiques $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ et des moules prismatiques $7 \times 7 \times 28 \text{ cm}^3$ (Figure III.9). Le nombre d'échantillons pour chaque essai est de trois (03) afin d'avoir une moyenne représentative.



Figure III.9.Confection des bétons étudiés

Moulage et démoulage

Après le malaxage, le béton est introduit dans des moules déjà graissés. Le coulage est exécuté en deux couches vibrées jusqu'à la stabilisation de niveau du béton. Le but de la vibration est le remplissage parfait du moule. La face supérieure de l'éprouvette doit être lisse est bien finie à l'aide d'une règle. Après 24 heures, les éprouvettes sont démoulées et soumis, jusqu'à la date de l'essai à une cure humide (figure III.10).



Figure III.10. Etiquetage des différents bétons

III-5-Essai Sur béton frais

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

L'essai au cône d'Abrams, est l'essai le plus fréquent pour évaluer la consistance du béton. Pour mesurer l'affaissement on introduit le béton frais dès la fin du malaxage en trois couches recevant chacune 25 coups de piquage dans un moule tronconique. Après l'arasage et le démoulage, on mesure la hauteur par laquelle le béton s'est enfoncé (figure III.11).



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

Après ces opérations sur les différents on a constaté une augmentation de l'affaissement avec l'incorporation de la substitution (figure III.12). Le béton témoin BT0 a enregistré un affaissement de 7cm. Avec la substitution des graviers naturels par les graviers de type céramique l'affaissement augmente pour atteindre 9cm dans le cas du BT30.

La glaçure appliquée au céramique sanitaire dans l'une des faces leur donne une brillance mais aussi une imperméabilité. Cette dernière à effet immédiat de l'écoulement de l'eau.

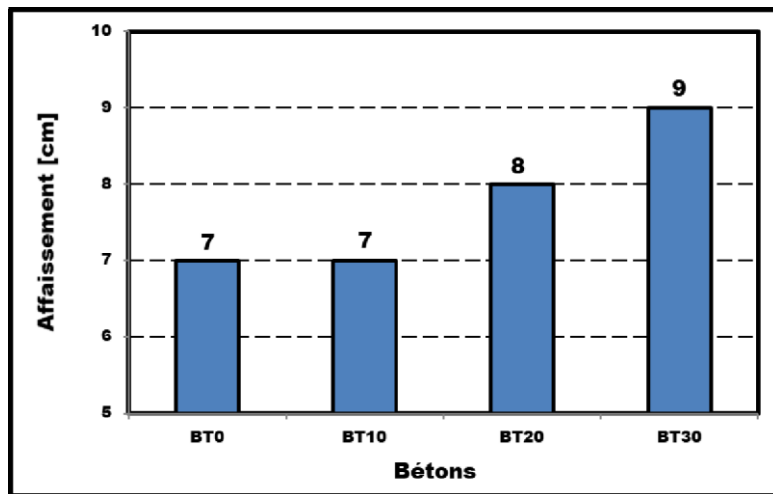


Figure III.12. Valeurs de l'affaissement des bétons de l'étude.

III-6-Essais sur béton durci

III-6-1. La masse volumique

Avant chaque date d'essai destructif des éprouvettes, leurs masses est mesurées. La prise de masse est effectuée sur les éprouvettes $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$. La masse volumique est donc égale à $\rho = M/1000 [\text{g/cm}^3]$.

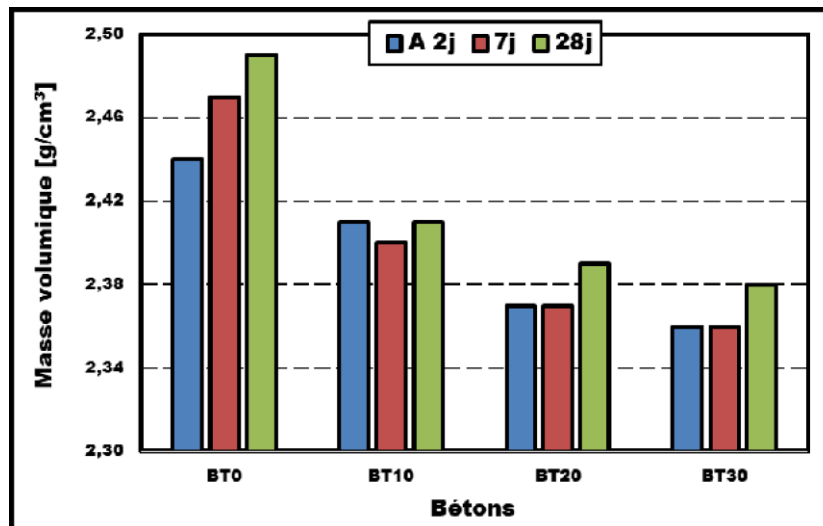


Figure III.13. La masse volumique des bétons élaborés

On constate sur la figure III.13, une diminution de la masse volumique des différents bétons avec l'incorporation et l'augmentation du pourcentage de la substitution. Cette diminution est due à la différence de la masse volumique des deux graviers utilisés (tableaux III.8 et III.11). Le passage de la masse volumique des graviers de 2.44 à 2.33 (gravier naturel et gravier céramique respectivement) diminue la masse volumique du béton tout en restant dans la catégorie des bétons moyens.

III-6-2-Propagation des ondes ultrasonique

Cet essai consiste à mesurer la vitesse longitudinale des ultrason infiltrés dans le 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 de mesure des ultrasons.

Les résultats de cet essai sont illustrés dans la figure III.15. D'après les résultats obtenus on remarque que la propagation des ondes diminue avec la substitution des granulats naturels par les granulats de déchets céramiques de même taille.

Ceci est due peut-être à l'absorption d'eau plus élevée des graviers céramiques recyclés utilisés, engendrant une réduction dans la zone entre les granulats et le liant.

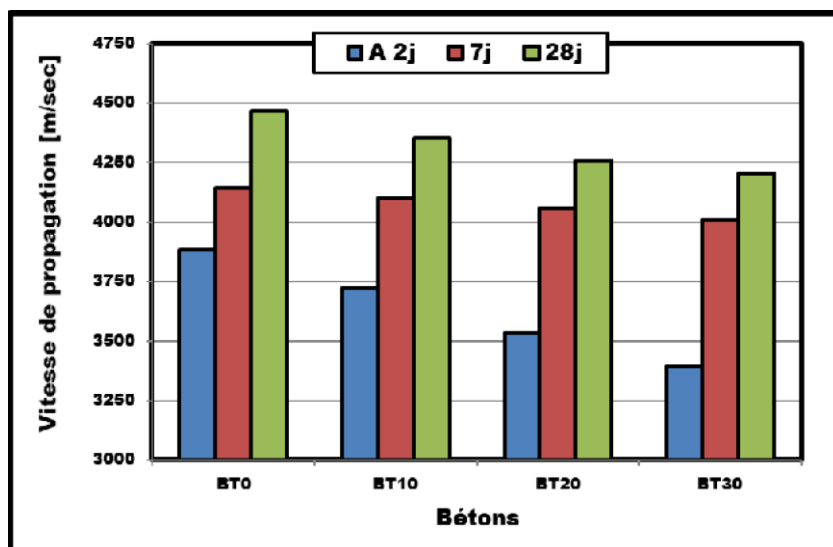


Figure III.15. Propagation des ondes ultrasonores.

III-6-3- Le retrait

La mesure de retrait consiste à évaluer les variations des déformations (ΔL) par rapport aux longueurs initiales (L_0) de l'éprouvette en fonction de temps. A l'aide d'un déformomètre équipé d'un comparateur (figure III.16) permettant de réaliser des mesures avec une exactitude inférieure ou égale à 0.005mm, le retrait des éprouvettes est suivi jusqu'à stabilisation du comparateur.



Figure III.16. Appareil de mesure du retrait

On remarque dans la figure III.17 que le rétrécissement de l'éprouvette en béton commence dès les premiers jours et se stabilise après 20 jours de suivi.

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.

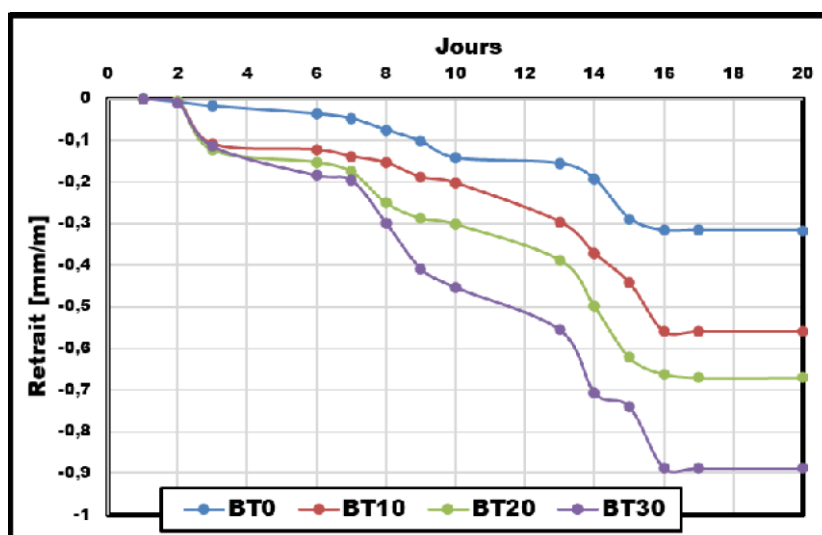


Figure III.17. Suivre du retrait des différents bétons.

III-6-4- Essai d'absorption par immersion

Après 28 jours de cure en chambre humide, les éprouvettes sont retirées et mises en étuve pour séchage jusqu'à stabilisation de la masse. Ensuite on immerge totalement les échantillons jusqu'à stabilisation de la masse. L'essai a pour but de déterminer le coefficient d'absorption du béton définie par la formule suivante : $A = (M_2 - M_1) / M_1$.

Avec : A : coefficient d'absorption ; M_1 : poids sec du matériau ; M_2 : poids humide du matériau

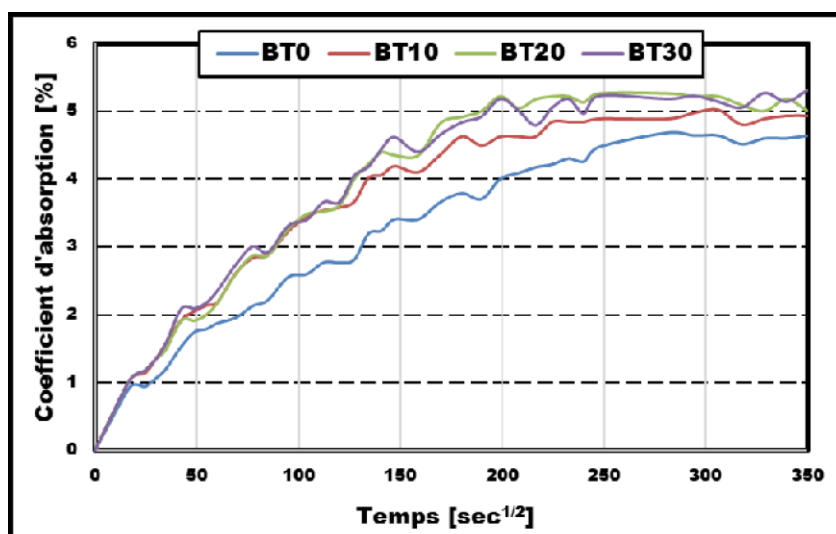


Figure III.18. Suivre du retrait des différents bétons.

La figure III.18 est le résultat du suivi du coefficient d'absorption par immersion totale des éprouvettes de béton dans l'eau. On remarque que les bétons avec substitution des graviers naturels par des graviers céramiques enregistre un taux d'absorption plus élevé. Ceci à cause peut être du degré d'absorption plus élevé des céramiques sanitaires comme décrit au tableaux III.18 et III.19

III-6-5- l'absorption capillaire

Après 28 jours de cure dans une chambre humide (95% HR et T 20°C), les éprouvettes de béton, sont séchées dans une étuve ventilée jusqu'à masse constante ($\Delta M < 0,1\%$ en 24 heures).

L'échantillon est ensuite placé sur deux appuis dans un bac rempli d'eau jusqu'à une hauteur de 2 ± 1 mm à partir de la base de l'éprouvette (figure III.19).

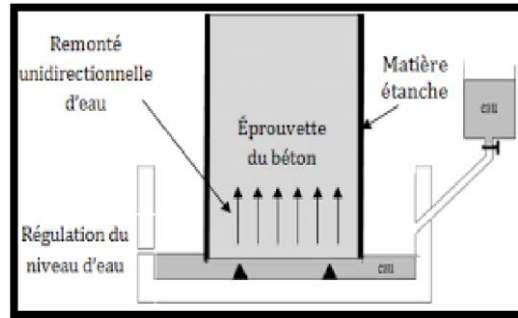


Figure III.19. Essai d'absorption par capillarité

Après le suivi de cette caractéristique on a pu tracer la figure III.20. On constate que les bétons à substitution sont plus absorbant que le béton à granulats naturels.

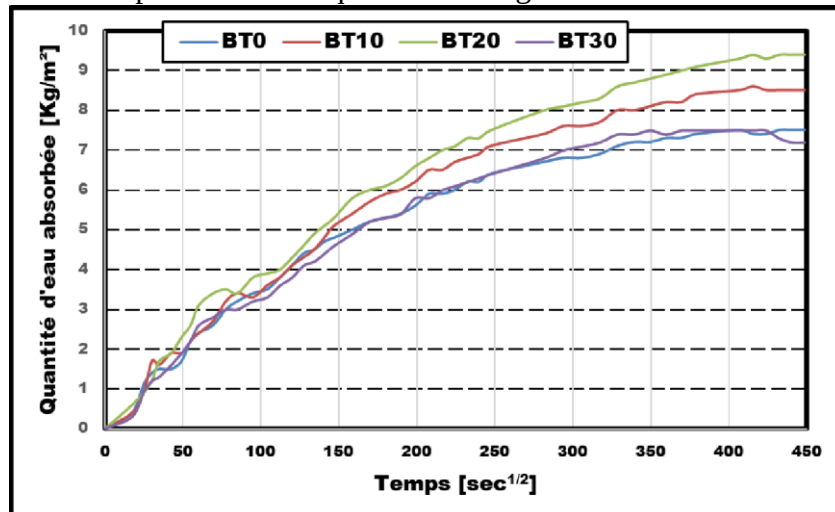


Figure III.20. Essai d'absorption par capillarité

III-6-6- La porosité accessible à l'eau par pesée hydrostatique

D'après les taux des vides collectés au tableau III.26, on remarque qu'avec l'incorporation et l'augmentation du pourcentage des granulats céramiques le taux des vides augmente ce qui est synonyme peut être d'une moins bonne interface entre les céramique et la pâte de ciment.

Tableau III.26. Taux des vides dans les bétons

Désignation	A 2 jours	A 28 jours	A 90 jours
BT0	14.09	8.123	3.104
BT10	23.65	8.3	6.6
BT20	15.25	8.25	6.05
BT30	15	9.4	6.45

Conclusion générale

Conclusion générale

Le recyclage des déchets dans les matériaux cimentaires, est souvent élaboré. Que ce soit la poudre ou la pâte de ciment, le mortier ou le béton tous ces matériaux sont polluants. Pour réduire cette contrainte environnementale des sous-produits d'autres industrie sont incorporés.

Le laitier de hauts fourneaux, un sous-produit de l'industrie du métal par voie liquide, la cendre volantes qui est un sous-produit de la combustion du charbon des centrales électriques, la fumée de silice issue de la métallurgie du silicium, sont les ajouts de substitution les plus connues dans l'industrie cimentaire pour réduire l'empreinte écologique des ciments.

Dans la catégorie des mortiers et des bétons, l'utilisation des granulats fins et grossier d'origine naturels viennent aggraver la situation. D'origine naturels, les sites géologiques et les domaines vitaux des certains animaux sont réduites à néant. Afin de réduire ces répercussions, différentes études sont menées, pour remplacer les granulats naturels par des granulats artificiels ou recyclés. Ce recyclage permet d'économiser la ressource naturelle de valoriser des déchets de déconstruction limitant ainsi la quantité de matériaux mis en décharge.

D'une autre côte, les céramiques sont de plus en plus convoitées comme matériaux d'ornement. De la vaisselle, poterie, faïence, etc. ces objets de valeurs et parfois couteux, résistent mal aux chocs, il se cassent à la moindre secousse. Classés comme déchets inertes, ils prennent de grandes surfaces de stockage.

Afin de réduire ce torrent sur les décharges, on propose dans ce travail, la valorisation d'une céramique de type sanitaire comme granulats dans un béton ordinaire. Suite aux différents essais effectués, on a constaté qu'avec l'introduction et l'augmentation du pourcentage du gravier céramique les points suivants :

*Avec la grande surface avec glaçure sur le gravier en céramique, L'affaissement augmente.

*La densité plus faible du gravier céramique par rapport au gravier naturel diminue la densité des bétons.

*La forte absorption d'eau du gravier céramique réduit l'hydratation du ciment, ce qui entraîne une propagation moins intense dans les bétons modifiés.

*Les bétons modifiés sont plus absorbants que le béton ordinaire, en raison de l'absorption des granulats céramiques.

* Les bétons modifiés enregistre un taux des vides plus important que le béton ordinaire à cause peut être d'une interface granulats/ pate réduite.

Les résultats de l'étude sont très satisfaisants car il n'y a pas une différence très significative. On propose à l'avenir d'augmenter le pourcentage de substitution et d'étudier le comportement de ces bétons en milieu agressif.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Les constituants des bétons et des mortiers (2005), Collection technique CimBéton.
- [2] Duggal, S. K. (2017). Building materials. 3rd Ed. New age international publishers .
- [3] Bouabdallah, F., Habita, M. F., & Ferhoune, N. (2019). Les granulats de la carrière de Bouhachana (Guelma–Nord Est Algérien) et l’Alcali Carbonate Réaction (ACR). Rencontres Nationales de Génie Civil et d’Hydraulique. Skikda. Algérie
- [4] Dhir, R. K., Hewlett, P. C., & Chan, Y. N. (1991). Near-surface characteristics of concrete: abrasion resistance. Materials and Structures, 24, 122-128.
- [5] Kılıç, A., Atiş, C. D., Teymen, A., Karahan, O. K. A. N., Özcan, F., Bilim, C., & Özdemir, M. E. T. I. N. (2008). The influence of aggregate type on the strength and abrasion resistance of high strength concrete. Cement and Concrete Composites, 30(4), 290-296.
- [6] Tuncs, E. T., & Alyamac, K. E. (2020). Determination of the relationship between the Los Angeles abrasion values of aggregates and concrete strength using the Response Surface Methodology. Construction and Building Materials, 260, 119850.
- [7] Kumar, S., Gupta, R. C., & Shrivastava, S. (2016). Strength, abrasion and permeability studies on cement concrete containing quartz sandstone coarse aggregates. Construction and Building Materials, 125, 884-891.
- [8] Kang, J., Zhang, B., & Li, G. (2012). The abrasion-resistance investigation of rubberized concrete. Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed., 27(6), 1144-1148.
- [9] Turlan, T. (2018). Les déchets.: Collecte, traitement, tri, recyclage. 2eme Ed. Dunod.
- [10] Loi n° 2001-19 du 27 Ramadhan 1422 correspondant au 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets
- [11] <https://and.dz/site/wp-content/uploads/2016/04/etude-caracterisation-2014-1.pdf> consulté le 03/04/2023.
- [12] <https://www.aps.dz/societe/118150-la-quantite-des-dechets-menagers-en-algerie-depassera-20-millions-de-tonnes-en-2035> consulté le 03/04/2023.
- [13] 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.
- [14] <https://and.dz/site/wp-content/uploads/BU.pdf> consulté le 04/04/2023.
- [15] <https://and.dz/site/wp-content/uploads/DASRI.pdf> consulté le 04/04/2023.
- [16] Patra, R. K., & Mukharjee, B. B. (2017). Influence of incorporation of granulated blast furnace slag as replacement of fine aggregate on properties of concrete. Journal of cleaner production, 165, 468-476
- [17] Rashid, K., Hameed, R., Ahmad, H. A., Razzaq, A., Ahmad, M., & Mahmood, A. (2018). Analytical framework for value added utilization of glass waste in concrete: Mechanical and environmental performance. Waste Management, 79, 312-323

BIBLIOGRAPHIE

- [18] Hadzima-Nyarko, M., Nyarko, E. K., Ademović, N., Miličević, I., & Kalman Šipoš, T. (2019). Modelling the influence of waste rubber on compressive strength of concrete by artificial neural networks. *Materials*, 12(4), 561.
- [19] Pitarch, A. M., Reig, L., Tomás, A. E., & López, F. J. (2019). Effect of tiles, bricks and ceramic sanitary-ware recycled aggregates on structural concrete properties. *Waste and Biomass Valorization*, 10, 1779-1793.
- [20] Guerra, I., Vivar, I., Llamas, B., Juan, A., & Moran, J. (2009). Eco-efficient concretes: The effects of using recycled ceramic material from sanitary installations on the mechanical properties of concrete. *Waste management*, 29(2), 643-646.
- [21] Medina, C., Juan, A., Frías, M., de Rojas, M. S., Moran, J. M., & Guerra, M. I. (2011). Characterization of concrete made with recycled aggregate from ceramic sanitary ware. *Materiales de Construcción*, 61(304), 533-546.
- [22] Medina, C., De Rojas, M. S., Thomas, C., Polanco, J. A., & Frías, M. (2016). Durability of recycled concrete made with recycled ceramic sanitary ware aggregate. Inter-indicator relationships. *Construction and Building Materials*, 105, 480-486.
- [23] Canbaz, M. (2016). The effect of high temperature on concrete with waste ceramic aggregate. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 40, 41-48.
- [24] Ogrodnik, P., Szulej, J., & Franus, W. (2018). The wastes of sanitary ceramics as recycling aggregate to special concretes. *Materials*, 11(8), 1275.