

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT De Génie Civil

N° :.....



FILIERE : Génie civil
OPTION : Matériaux

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

Par : Bouchamba Hicham

Et Saoudi Okba

Intitulé

L'introduction des déchets de céramique dans Le
squelette granulaire d'une béton

Soutenu devant le jury composé de :

NACERI AbdelGhani

CHIKOUCHE Mohamad Aziz

BELOUADEH Messaouda

Université de M'sila

Université de M'sila

Université de M'sila

Président

Rapporteur

Examineur

Année universitaire : 2022 /2023

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT De Génie Civil

N° :.....



FILIERE : Génie civil
OPTION : Matériaux

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

Par : Bouchamba Hicham

Et Saoudi Okba

Intitulé

L'introduction des déchets de céramique dans le
squelette granulaire d'un béton

Soutenu devant le jury composé de :

NACERI Abdel Ghani	Université de M'sila	Président
CHIKOUCHE Mohamad Aziz	Université de M'sila	Rapporteur
BELOUADEH Messaouda	Université de M'sila	Examineur

Année universitaire : 2022 /2023

REMERCIEMENTS

Merci et louanges à Dieu Tout-Puissant pour mon succès dans l'accomplissement de ce travail.

Louange à Dieu pour ses bénédictions.

J'exprime mes sincères remerciements et ma gratitude au Dr Chikouche Mohamed Aziz pour ses grands efforts et le soutien qu'il m'a apporté et la confiance qu'il m'a accordée pour mener à bien ce mémorandum.

Merci à chaque enseignant qui m'a aidé avec ses connaissances depuis les premières étapes de l'école jusqu'à ce moment.

Je remercie également tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.



Dédicaces

A mes chers parents, que Dieu me les préserve.

**À tous mes frères et sœurs qui m'ont appris le
sens de la force.**

**A tous mes amis et à ceux qui m'ont
accompagné pendant mes études.**

**A tous ceux qui n'ont ménagé aucun effort pour
m'aider.**

**A ceux qui m'ont montré le sens de l'ambition et
du bonheur.**

SOMMAIRE

	Titre	Page
REMERCIEMENTS		
Dédicaces		
SOMMAIRE		
LISTE DES FIGURES		I
LISTE DES TABLEAUX		VI
RESUME.....		XI
INTRODUCTION GENERALE.....		1
CHAPITRE I : Les granulats dans le béton		
I.1.Introduction		5
I.2.Définition		5
I.3.Différents types de granulats.....		5
I.3.1.Classement selon leurs granulométries.....		5
I.3.2. Classement selon leurs origines.....		6
I.4.Propriétés des granulats.....		6
I.4.1.Forme des particules et texture de surface.....		6
I.4.2. Solidité et durabilité.....		7
I.4.3. Dureté et résistance à l'abrasion.....		8
I.4.4. Absorption.....		8
I.4.5. La masse volumique.....		9
I.4.6. Résistance, élasticité et résilience.....		9
I.4.7. Propreté et matières nocives.....		10
I.4.8. Réactivité alkali-granulats.....		10
I.5. Influence des caractéristiques des granulats dans le béton.....		11
CHAPITRE II : Valorisation des granulats recyclés dans les bétons		
II.1.Introduction.....		21
II.2.Définition.....		21
II.3.Les différents types des déchets.....		21
II.3.1.Les déchets ménagers et assimilés.....		21
II.3.2.Les déchets industriels.....		22
II.3.2.1.Les déchets hospitaliers.....		22
II.3.2.2.Les déchets dangereux.....		23
II.3.3.Les déchets de chantier.....		23
II.4.La gestion des déchets.....		23
II.4.1.La collecte.....		24
II.4.2.Le tri.....		24
II.4.3.Le recyclage.....		24
II.4.4.L'élimination.....		24
II.5.Les déchets dans le génie civil.....		25
II.5.1.Le laitier.....		25
II.5.2.Mâchefer.....		26
II.5.3.Le verre.....		26
II.5.4.Les pneus usagés.....		26
II.5.5.Les déchets céramiques.....		27
II.5.5.1.Recyclage des déchets céramiques dans le béton.....		28
CHAPITRE III : Essais et résultats		
III.1.Introduction.....		35
III.2. Caractérisation des granulats.....		35
III.3. Le sable.....		35

III.1.1.Caractéristique du sable.....	35
III.1.1.1.Masse volumique absolue.....	35
III.1.1.2. Masse volumique apparente: (NF P 18-555)	36
III.1.1.3.Porosité, compacité et indice des vides (NF P 18-555)	37
III.1.1.4.Teneur en eau (NF P 18-555)	38
III.1.1.5.Degré d'absorption d'eau NF P 18-555.....	38
III.1.1.6.Analyse granulométrique (NF P 18-560)	38
III .1.1.7. Equivalent de sable (NF P 18-598)	40
III.2. Les graviers.....	41
III.2.1. Caractéristiques du gravier utilisé.....	41
III.2.1.1. Masse volumique absolue.....	41
III.2.1.2.Masse volumique apparente NF P 18-555.....	42
III.2.1.3. Porosité, compacité et indice des vides NF P 18-555.....	42
III.2.1.4. Degré d'absorption d'eau.....	43
III.2.1.5. Analyse granulométrique (NF P 18-560)	43
III.2.1.6. Essai de résistance au choc NF P 18-573.....	44
III.3. Caractéristiques du ciment utilisé (CEMI MOUKAWIM)	45
III.4. Eau de gâchage.....	45
III.5.Formulation du béton.....	45
III.5.1. Malaxage des bétons.....	46
III.5.2. Confection des éprouvettes.....	47
III-5-3-La cure.....	47
III.6. Essai sur béton frais.....	47
III.6.1. Affaissement au cône d'Abrams (NF P18-451)	47
III-7-Essais sur béton durci.....	48
III-7-1-La masse volumique.....	48
III.7.2. Résistance à la compression.....	49
III.7.3. Propagation des ondes ultrasonique UPV.....	50
III.7.4. Retrait.....	51
III.7.5. Absorption par immersion.....	52
III.7.6. Absorption capillaire.....	53
III.7.7.La porosité accessible à l'eau par pesée hydrostatique NF P 18-459.....	54

CONCLUSION

REFERENCES BIBLIOGRAPHIE

LISTE DES FIGURES

	Titre	Page
CHAPITRE I : Les granulats dans le béton		
Figure I.1.	Granulats de différente granulométrie	5
Figure I.2.	Les granulats concassés	7
Figure I.3.	Appareil Los Angeles	8
Figure I.4.	Les états d'absorption dans les vides des granulats.....	9
Figure I.5.	Détérioration du béton sous l'effet d'alkali réaction.	11
Figure I.6.	Module d'élasticité en fonction de la taille des granulats selon Rocco & Elices.	12
Figure I.7.	Résistance à la flexion en fonction de la taille des granulats selon Rocco & Elices.	13
Figure I.8.	Energie de fracture en fonction de la taille des granulats selon Rocco & Elices.	13
Figure I.9.	La longueur de granulats en fonction de la taille des granulats selon Rocco & Elices.	14
Figure I.10.	Corrélation de la densité de tassement aux paramètres de forme des granulats selon Kwan & Mora.....	15
Figure I.11.	Absorption capillaire des bétons étudiés selon Alexandre Bojas et al.....	16
Figure I.12.	Absorption capillaire des bétons étudiés avec E/C=0.6 selon Alexandre Bojas et al.....	17
Figure I.13.	Image MEB des bétons à granulats recyclés selon Yehia et al.	17
Figure I.14.	Image MEB d'initiation et propagation de fissures dans le béton RA selon Yehia et al	18
Figure I.15.	Résistance à la compression relative à 25°C après exposition à haute température selon Kou et al.....	19
Figure I.16.	Absorption capillaire relative à 25°C après exposition à haute température selon Kou et al.....	19
CHAPITRE II : Valorisation des granulats recyclés dans les bétons		
Figure II.1.	Déchets ménagers et assimilés.....	21
Figure II.2.	Les déchets industriels.....	22
Figure II.3.	Les déchets hospitaliers.....	22
Figure II.4.	Déchets dangereux.....	23
Figure II.5.	Déchets de chantier.....	23
Figure II.6.	Collecte des déchets.....	24
Figure II.7.	Composition des déchets du bâtiment.	25
Figure II.8.	Schéma de principe d'un haut fourneau.	26
Figure II.9.	Les déchets céramiques.	27
Figure II.10.	Image MEB de l'ITZ selon Medina et al.	30
Figure II.11.	Image MEB de CSH selon Medina et al.	31
Figure II.12.	Profils de pénétration des chlorures dans les bétons selon Medina et al.....	32
Figure II.13.	Relation entre la profondeur de pénétration des chlorures et les caractéristiques du système poreux selon Medina et al.	32

Figure II.14.	Influence des granulats céramique sur l'ouvrabilité des bétons selon Rashid et al.	32
Figure II.15.	Résistance à la compression des bétons selon Rashid et al.	33
Figure II.16.	ITZ entre granulat et matrice cimentaire selon Rashid et al.	33
CHAPITRE III : Essais et résultats		
Figure III.1.	Les différents matériaux utilisés.	35
Figure III.2.	Essai de la masse volumique absolue du sable.....	36
Figure III.3.	Analyse granulométrique du sable.....	39
Figure III.4.	Agitateur pour équivalent de sable.....	40
Figure III.5.	La masse volumique absolue du gravier.....	41
Figure III.6.	Appareil Los Angeles.	45
Figure III.7.	Courbe de référence du béton de référence.	46
Figure III.8.	Malaxage des matériaux pour l'obtention du béton.	46
Figure III.9.	Confection des bétons.....	47
Figure III.10.	Affaissement au cône d'Abrams.....	48
Figure III.11.	Affaissement des différents bétons.....	48
Figure III.12.	La masse volumique des bétons élaborés.....	49
Figure III.13.	Machine d'essai de résistance à la compression.....	49
Figure III.14.	Résistance à la compression des différents bétons.....	50
Figure III.15.	Essai à l'ultrasonique UPV.....	50
Figure III.16.	Vitesse de propagation des ondes ultrasoniques.....	51
Figure III.17.	Appareil de retrait.....	51
Figure III.18.	Mesure de retrait du différent béton.....	52
Figure III.19.	Absorption totale des bétons étudiés.....	53
Figure III.20.	Schéma simplifié de l'essai d'absorption par capillarité.....	53
Figure III.21.	Evolution de l'absorption capillaire en fonction de \sqrt{t}	54

LISTE DES TABLEAUX

	Titre	Page
CHAPITRE I : Les granulats dans le béton		
Tableau I.1	Fraction volumique optimal par l'analyse de Fourier selon Hu & Stroeven.	12
Tableau I.2	Résistance à la compression et absorption capillaire des bétons étudiés selon Kou et al.	18
CHAPITRE II : Valorisation des granulats recyclés dans les bétons		
Tableau II.1	Résistances à la compression des bétons dans l'étude de Medina et al.....	28
Tableau II.2	Les quantités de matériaux utilisés dans les bétons dans l'étude de Medina et al.....	29
Tableau II.3	Résistances à la compression des bétons dans l'étude de Medina et al.....	31
CHAPITRE III : Essais et résultats		
Tableau III.1	Masse volumique absolue.	36
Tableau III.2	Masse volumique apparente sable.....	37
Tableau III.3	Masse volumique apparente du sable de Boussaâda à l'état compact.....	37
Tableau III.4	Masse volumique apparente du sable de céramique à l'état compact.....	37
Tableau III.5	Porosité, compacité et indice des vides.....	37
Tableau III.6	Teneur en en du sable de dune.....	38
Tableau III.7	Absorption d'eau du sable naturel.	38
Tableau III.8	Analyse granulométrique du sable.....	39
Tableau III.9	Résultat de l'essai d l'équivalent de sable.....	40
Tableau III.10	Masse volumique absolue de gravier 3/8.	41
Tableau III.11	Masse volumique absolue de gravier 8/16.	41
Tableau III.12	Masse volumique absolue de gravier 16/25.....	41
Tableau III.13	La masse volumique absolue du gravier 8/16 céramique.....	42
Tableau III.14	Masse volumique apparente du gravier 3/8.....	42
Tableau III.15	Masse volumique apparente du gravier 8/16.....	42
Tableau III.16	Masse volumique apparente du gravier 16/25.....	42
Tableau III.17	Masse volumique apparente du gravier céramique 8/16.....	42
Tableau III.18	Porosité, compacité et indice des vides.....	43
Tableau III.19	Porosité, compacité et indice des vides pour gravier 8/16 céramique.....	43
Tableau III.20	Absorption d'eau des graviers naturels.....	43
Tableau III.21	Absorption d'eau du gravier 8/16 céramique.....	43
Tableau III.22	Analyse granulométrique du gravier 3/8.....	43
Tableau III.23	Analyse granulométrique du gravier 8/16.....	44
Tableau III.24	Analyse granulométrique du gravier 16/25.....	44
Tableau III.25	Analyse granulométrique du gravier 8/16 céramique.....	44
Tableau III.26	Essai Los Angeles de gravier.....	45
Tableau III.27	Nomination des bétons utilisés.....	46
Tableau III.28	Taux des vides des bétons.....	54

Résumé

L'homme a vécu dans des grottes, puis a construit des châteaux, aujourd'hui c'est l'ère du béton. Ce matériau est devenu l'une des nécessités pour le progrès et la civilisation. Parmi ces composants le gravier et le sable, considérés comme des matériaux naturels. Ils proviennent des opérations de concassage de la pierre, des rivières, du désert ou de la mer.

Afin d'arrêter cet atteinte et la destruction de la vie écologique, il est recommandé d'utiliser des matériaux qui sont des déchets inertes que la nature ou d'autres matériaux ne peuvent pas décomposer, comme le béton recyclé. Parmi ces matériaux on trouve aussi, la céramique qui est non biodégradable.

Dans nos travaux, nous avons utilisé des déchets céramiques sanitaires comme gravier et remplacé certaines proportions de gravier naturel pour étudier son effet sur certaines propriétés du béton.

Afin d'arriver à la conclusion générale, nous avons divisé le travail en trois chapitres en plus de l'introduction générale. Le premier chapitre cite les types de gravier utilisés dans le béton, tandis que le second traite les déchets et de leur valorisation dans le béton. Le troisième chapitre est une étude et analyse d'expériences conduites sur les différents bétons. A la fin, nous avons résumé nos travaux et formulé quelques recommandations.

Mots clés: Gravier naturel, céramique sanitaire, recyclage des déchets, béton, propriétés mécaniques.

Abstract

Humans lived in caves, then built castles, and today represents the concrete era. This material becomes vital to progress and civilization. Among these components, gravel and sand, are considered natural materials. They come from stone-crushing operations, rivers, the desert, or the sea.

To prevent this damage and the destruction of ecological life, it is recommended to use inert waste that nature cannot decompose like recycled concrete. Among these materials, we also find ceramic, which is non-biodegradable.

In our work, we used sanitary ceramic waste as gravel and replaced certain proportions of natural gravel to observe its effect on some properties of concrete.

To reach a general conclusion, we have divided the work into three chapters and a general introduction. The first chapter mentions the types of gravel used in concrete, while the second deals with waste and its recovery in concrete. The third chapter is a study and analysis of experiments conducted on different concretes. In the end, we summarized our work and presented some recommendations.

Keywords: Natural gravel, sanitary ceramics, waste recycling, concrete, mechanical properties.

ملخص

سكن الإنسان في المغارات ثم شيد القلاع وبعدها أتى عصر الخرسانة . أصبحت هذه المادة من الضروريات للتقدم والرقي ومن مكوناتها الحصى والرمل. هذه المكونات تعتبر مواد طبيعية أين يتم جلبها من تكسير الصخور أو الوديان ومن الرمال الصحراوية أو البحرية.

من أجل وقف هذا الزحف وما يترتب عنه من تخريب الحياة البيئية، يوصى باستعمال مواد تعتبر نفايات خامة لا يمكن للطبيعة أو مواد أخرى تحليلها، مثل الخرسانة المدورة. من بين هذه المواد أيضا يوجد الخزف والذي لا يمكن تدويره في شعبته

في عملنا هذا قمنا باستعمال نفايات الخزف الصحي كحصى واستبدال نسب معينة من الحصى الطبيعي لمعرفة تأثيرها على بعض خصائص الخرسانة

من أجل الوصول إلى الخاتمة العامة قمنا بتقسيم العمل إلى ثلاث فصول بالإضافة إلى المقدمة العامة. الفصل الأول يتحدث عن أنواع الحصى المستعملة في الخرسانة، أما الثاني فيتحدث عن النفايات وكيفية تدويرها في الخرسانة. الفصل الثالث عبارة عن دراسة وتحليل للتجارب على الخرسانة. في الأخير قدمنا بعض حوصلة للعمل مع بعض التوصيات في الخاتمة العامة

كلمات مفتاحية : حصى طبيعية ،خزف صحي، رسكلة النفايات، خرسانة، خصائص ميكانيكية.



**INTRODUCTION
GENERALE**

Introduction générale

Le rythme et le désir de développement économique ne cesse de se multiplier. Cette croissance économique, l'explosion démographique, la déforestation et la forte demande d'article de luxe etc., ont un effet dévastateur sur l'environnement. L'expansion rapide des villes entraîne une dégradation de l'environnement. La demande de services d'infrastructure tels que le logement ou les transports, épuisent les ressources environnementales des pays.

L'exploitation aveugle des ressources naturelles, s'accélère de façon fulgurante, afin de répondre au bien être de la population. Au fil du temps et avec l'industrialisation progressive, l'utilisation des ressources a augmenté. Dans certains cas, les niveaux d'exploitation ont dépassé les taux de régénération naturelle des ressources. Une telle surexploitation menace les moyens de subsistance et le bien-être des personnes qui dépendent de ces ressources et met en péril la santé des écosystèmes. Notre exploitation des ressources ne fait qu'augmenter et certaines ressources sont en train de s'épuiser.

Le béton, constitué de ciment, d'eau et de granulats, ne cessent d'engloutir des terres non renouvelables. Les matières premières les plus importantes pour la fabrication du ciment sont le calcaire et l'argile, ainsi des montagnes de million d'année de formation sont réduites à néant en quelques années. Les granulats sont produits à partir de sources naturelles et extraites des carrières, des rivières ou d'origine marine. L'eau est nécessaire pour la réaction d'hydratation du ciment et assurer la maniabilité du béton, il doit être propre et exempt de quantité nocive d'acides, d'alcalis, de sels ou d'autres substances chimiques pouvant endommager le béton ou l'acier.

Les produits en céramiques sont constitués principalement par des argiles kaolinique. Les sanitaires en céramique sont fabriqués à partir d'argile cuite. Ces produits sont très fragiles et nécessitent un traitement soigneux à l'usine, au transport et même lors de la pose finale.

Les déchets générés par les sanitaires en céramique sont extrêmement encombrants. Ce déchet céramique est un matériau à haute résistance à la compression et à l'usure. De plus, ces déchets céramiques sont classés comme inertes, ce qui facilite leur manipulation en vue de leur réutilisation.

Face à la multiplication des carrières et mines à la recherche des granulats naturels, chercheurs et scientifiques tentent toujours de minimiser ou amortir cette course. L'utilisation des produits issue d'autres industries juger comme déchets dans les produits cimentaires est toujours d'actualité. Recycler les déchets dans la production des bétons avec de proportions de granulats recyclés est une approche attractive en termes d'environnement et d'économie.

Objectif de la thèse :

L'objectif de ce travail est l'étude de l'influence du remplacement des granulats naturels (8/15) par des granulats de type céramique sanitaire dans les bétons ordinaires.

Structure de la thèse :

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

*Le premier chapitre, mentionne les différentes propriétés des granulats et leurs effets sur le comportement des bétons.

*Le deuxième chapitre, cite la gestion des déchets selon leur nature en mettant l'accent sur la gestion des déchets de génie civil.

*Le troisième chapitre, est l'ensemble des résultats trouvés au cours de l'exécution des différents essais au laboratoire de génie civil.

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 « Confection d'un béton ordinaire avec l'introduction des granulats recyclés de type céramique sanitaire » dans la partie de caractérisation des matières premières pour la confection du béton.

A decorative graphic of a scroll with a black outline and grey shading on the rolled-up ends. The scroll is oriented vertically, with the top edge at the top of the page and the bottom edge at the bottom. The text is centered within the scroll's frame.

CHAPITRE I:

Les granulats dans le béton

I.1.Introduction :

Le granulat est un matériau inerte tel que le sable, le gravier, la roche concassée. Entre 70 et 80 % du volume du béton est occupé par des granulats. L'effet sur les propriétés et les performances du béton est donc très important. Les granulats sont généralement obtenus soit en creusant ou en draguant le fond des rivières ou de la mer, soit en obtenant des gravats concassés produits avec la tige de roches ou de grosses pierres.

I.2.Définition :

Les granulats sont appelés granules dont la taille varie des petits grains de sable au gravier. Mélanges avec de l'eau et du ciment, ils nous permettent d'obtenir du béton. Le rôle du granulat dans le béton, est le support des charges auxquelles il est soumis. Le granulat est le matériau le moins cher en termes de facilité d'obtention et d'abondance dans la nature.

I.3.Différents types de granulats :

Les granulats peuvent être classés dans différents types. Les classements les plus répandus sont selon leurs tailles et selon leurs origines.

I.3.1.Classement selon leurs granulométries :

Les sables et les graviers sont les produits de l'érosion des roches préexistantes et sont généralement transportés par l'eau ou par le vent. Ils sont généralement déposés en couches relativement minces au pied des montagnes, dans les vallées fluviales ou le long des rivages. La roche concassée, en revanche, est obtenue à partir de carrières de roche, ce qui implique que la roche appropriée doit se trouver à la surface de la terre où une carrière peut être développée. Le gravier concassé, est produit à partir des carrières en forant et en dynamitant le front de taille avec des explosifs pour maximiser la fragmentation. Les fragments dynamités sont ensuite broyés et passés à travers une série de cribles vibrants pour produire les fractions granulométriques requises.

Les tailles des granulats dépendent des exigences locales, mais un exemple typique utilisant les spécifications de la norme européenne sur les granulats pourrait être 20–14 mm, 14–12,5 mm, 12,5–6,3 mm pour les gros granulats, et 4–2 mm et 2–1 mm pour les fins (Figure I.1).



Figure I.1. Granulats de différente granulométrie.

Les granulats extraits des gisements naturels de sable et de gravier présentent plusieurs avantages par rapport aux granulats de roche concassée. La nature, à travers les processus d'érosion et de dépôt, a tendance à concentrer les particules dures et durables, tandis qu'en même temps, le matériau non durable plus faible a tendance à se décomposer davantage en limon et en argile qui est transporté plus facilement par l'eau qui coule que les particules plus lourdes et plus grossières.

Etant donné que les dépôts de sable et de gravier s'accumulent généralement sur une période de temps géologique, les sources d'où proviennent les matériaux et l'énergie des processus érosifs peuvent changer de façon saisonnière ou à plus long terme sous forme d'érosion ou de soulèvement tectonique. Par conséquent, la plupart des ressources de gravier sont caractérisées par des variations rapides et locales des distributions granulométriques et du degré de tri avec des couches et des lentilles de matériaux plus grossiers et plus fins, qui peuvent être imbriquées les unes avec les autres à une échelle de quelques mètres [1].

I.3.2. Classement selon leurs origines :

Les granulats peuvent être aussi classés en granulats naturels et en granulats artificiels [2].

**Granulats naturels :* Ils sont obtenus par concassage de carrières de roches ignées, sédimentaires ou métamorphiques. 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.

**Granulats artificiels :* Les briques brisées, le laitier de haut fourneau et les granulats synthétiques sont des granulats artificiels. Les briques brisées connues sous le nom de briquettes conviennent au bétonnage de masse, par exemple dans les fondations. Ils ne sont pas utilisés pour les ouvrages en béton armé. Le granulats 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. 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.

I.4. Propriétés des granulats [3]:

I.4.1. Forme des particules et texture de surface :

La forme et la texture de surface des granulats déterminent la manière dont le matériau se tassera dans une configuration dense et déterminent également la mobilité des pierres dans un mélange (Figure I-2). Il y a deux considérations dans la forme du matériau : L'angularité et l'aplatissement.

Le concassage des roches produit des particules angulaires aux angles vifs et une texture rugueuse.

En raison des intempéries, les coins des granulats se décomposent, créant des particules sous angulaires et une texture lisse. Lorsque les granulats culbutent pendant leur transport dans l'eau, les coins peuvent devenir complètement arrondis. Généralement, les granulats anguleux et à texture rugueuse produisent des matériaux en vrac avec une stabilité plus élevée que les granulats arrondis à texture lisse.

Les granulats angulaires sont plus difficiles à mettre en place que les granulats arrondis, car leurs formes les rendent difficiles à glisser les uns sur les autres. En raison des différences de taille entre les granulats grossiers et fins, différentes méthodes d'essai sont utilisées pour leur évaluation.



Figure I.2. Les granulats concassés.

I.4.2. Solidité et durabilité :

La capacité d'un granulat à résister aux intempéries est définie comme sa solidité ou sa durabilité. Les granulats utilisés dans diverses applications de génie civil doivent être sains et durables, en particulier si la structure est soumise à des conditions climatiques sévères.

Le gel de l'eau dans les vides des granulats génère des contraintes qui peuvent fracturer les pierres. Le test de solidité (ASTM C88) simule les intempéries en trempant les granulats dans une solution de sulfate de sodium ou de sulfate de magnésium. Ces sulfates provoquent la croissance de cristaux dans les granulats, simulant l'effet du gel. Le test commence par un échantillon séché au four séparé en fractions de tailles différentes. L'échantillon est soumis à des cycles de trempage dans le sulfate pendant 16 heures, suivi d'un séchage. Typiquement, les échantillons sont soumis à cinq cycles. Ensuite, les granulats sont lavés et séchés, chaque taille est pesée et le pourcentage moyen pondéré de perte pour l'ensemble de l'échantillon est calculé. Ce résultat est comparé aux limites admissibles pour déterminer si le granulat est acceptable.

La solidité par congélation-décongélation (AASHTO T103) et l'expansion potentielle des réactions hydratées (ASTM D4792) sont des tests de dépistage alternatifs pour évaluer la solidité. La durabilité des granulats dans le béton de ciment portland peut être testée par gel et dégel rapides (ASTM C666), dilatation critique par gel (ASTM C671) et par résistance au gel des granulats grossiers dans le béton à air occlus par dilatation critique (ASTM C682).

I.4.3. Dureté et résistance à l'abrasion :

La capacité des granulats à résister à l'effet des charges est liée à la dureté des particules de granulats et est décrite comme la ténacité ou la résistance à l'abrasion. L'granulat doit résister à l'écrasement, à la dégradation et à la désintégration lorsqu'il est stocké, mélangé sous forme de ciment portland ou de béton bitumineux, placé et compacté et exposé à des charges.

Le test d'abrasion de Los Angeles (ASTM C131, C535) évalue la ténacité et la résistance à l'abrasion des granulats. Dans cet essai, des granulats mélangés à une distribution de taille fixe sont placés dans un grand tambour en acier avec des billes d'acier de taille standard qui agissent comme une charge abrasive (Figure I-3). Le tambour est mis en rotation, typiquement pendant 500 tours.

Le matériau est récupéré de la machine et passé à travers un tamis qui retient tout le matériau d'origine. Le pourcentage de perte de poids est le nombre d'abrasion « LA ». Il s'agit d'un test empirique ; c'est-à-dire que les résultats des tests n'ont pas de base scientifique et n'ont de sens que lorsque l'expérience locale définit les critères d'acceptation.

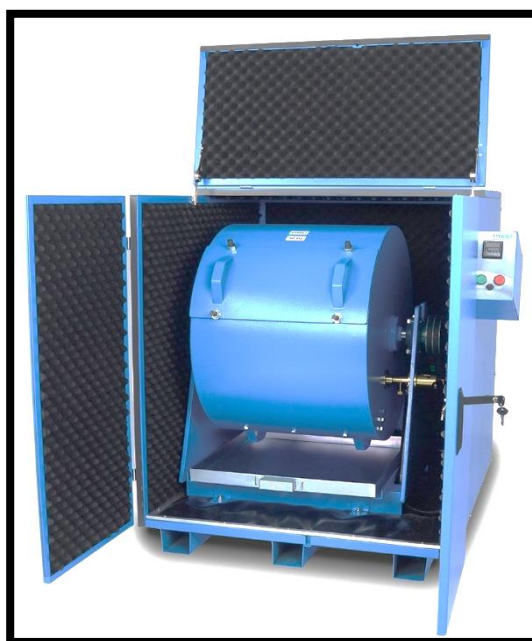


Figure I.3. Appareil Los Angeles.

I.4.4. Absorption :

Bien que les granulats soient inertes, ils peuvent capturer l'eau et l'asphalte dans les vides de surface. La quantité d'eau que les granulats absorbent est importante dans la conception du béton de ciment Portland, car l'humidité capturée dans les vides des granulats n'est pas disponible pour réagir avec le ciment ou pour améliorer la maniabilité du béton plastique. Il n'y a pas de niveau spécifique d'absorption des granulats souhaitable, mais elle doit être évaluée pour déterminer la quantité d'eau appropriée à mélanger au béton.

L'absorption est également importante pour le béton bitumineux, puisque l'asphalte absorbé ne sera pas disponible pour agir comme liant. Ainsi, les granulats très absorbants nécessitent de plus grandes quantités de liant bitumineux, ce qui rend le mélange moins économique. D'autre part, une certaine absorption d'asphalte est souhaitée pour favoriser la liaison entre l'asphalte et le granulat. Par conséquent, les granulats à faible absorption sont souhaitables pour le béton bitumineux.

Les quatre conditions d'humidité pour une particule de granulat est illustré à la figure I-4. Un granulat sec (Figure I-4-a) signifie que le granulat ne contient pas d'humidité. Dans un état sec à l'air (Figure I-4-b), le granulat peut avoir une certaine humidité mais l'état de saturation n'est pas quantifié. Dans un état saturé de surface sèche (SSS), les vides sont remplis d'humidité, mais la surface principale des particules est sèche (Figure I-4-c). L'absorption est définie comme la teneur en humidité dans l'état SSS. Les granulats humides (Figure I-4-d) ont une teneur en humidité supérieure à la condition SSS. L'humidité libre est la différence entre la teneur en humidité réelle et la teneur en humidité dans l'état SSD.

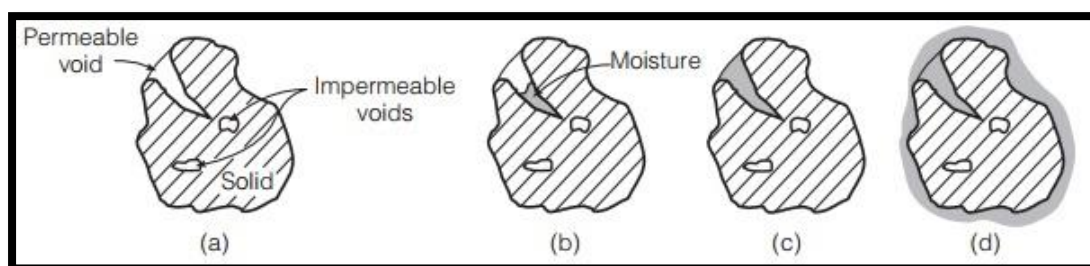


Figure I.4. Les états d'absorption dans les vides des granulats.

I.4.5. La masse volumique :

Les caractéristiques poids-volume des granulats ne sont pas un indicateur important de la qualité des granulats, mais elles sont importantes pour la conception du mélange de béton. La densité, ou la masse par unité de volume, pourrait être utilisée pour ces calculs. Cependant, la densité qui est la masse d'un matériau divisée par la masse d'un volume égal d'eau distillée, est plus couramment utilisée.

I.4.6. Résistance, élasticité et résilience :

La résistance du béton de ciment Portland et du béton bitumineux ne peut pas dépasser celle des granulats. Cependant, des essais sur l'échantillon de roche mère ou sur un échantillon de granulats en vrac fournissent une estimation indirecte de ces valeurs.

La résistance des granulats est généralement importante dans le béton à haute résistance et dans la couche de roulement des chaussées très fréquentées. La résistance à la traction des granulats varie de 0,7 MPa à 16 MPa, tandis que la résistance à la compression varie de 35 MPa à 350 MPa.

Le module d'élasticité des granulats n'est généralement pas mesuré. Cependant, les nouvelles méthodes de conception des chaussées nécessitent une estimation du module des bases de granulats. La réponse des granulats en vrac aux contraintes est non linéaire et dépend de la pression de confinement sur le matériau.

Étant donné que le module est utilisé pour la conception de la chaussée, les charges dynamiques sont utilisées dans un essai pour simuler l'amplitude et la durée des contraintes dans une base de chaussée causées par un camion en mouvement. Au cours de l'essai, au fur et à mesure que les contraintes sont appliquées à l'échantillon, la réponse de déformation a deux composantes, une déformation récupérable ou résiliente, et une déformation permanente. Seule la partie résiliente de la déformation est utilisée avec le niveau de contrainte appliqué pour calculer le module de l'granulat. Par conséquent, les résultats sont définis comme le module de résilience. Dans le test de module de résilience (AASHTO T292), l'éprouvette est soumise à une pression de confinement spécifiée et à une charge axiale répétée. Des transducteurs précis, tels que les LVDT, mesurent la déformation axiale. L'essai nécessite une détermination du module sur une plage de charges axiales et de pressions de confinement. Le module élastique est égal à la contrainte axiale répétée divisée par la déformation élastique pour chaque combinaison de niveau de charge et de pression de confinement. Le test du module de résilience nécessite la mesure de très faibles charges et déformations et est donc difficile à réaliser.

I.4.7. Propreté et matières nocives :

Étant donné que les granulats sont un produit naturel, il est possible qu'ils soient contaminés par l'argile, le schiste, la matière organique et d'autres matières nocives, telles que le charbon. Les agences utilisent des spécifications et des méthodes d'essai pour évaluer et limiter la quantité de matières nocives. Une substance nocive est tout matériau qui affecte négativement la qualité du ciment Portland ou du béton bitumineux.

I.4.8. Réactivité alkali-granulats :

Certains granulats réagissent avec le ciment Portland, endommageant la structure en béton. La réaction la plus courante, en particulier dans les climats humides et chauds, se produit entre les constituants actifs de la silice d'un granulat et les alcalis du ciment. La réaction alkali-silice entraîne une expansion excessive, des fissures ou des éclats dans le béton, comme le montre la figure I-5.

D'autres constituants du granulat, tels que les carbonates, peuvent également réagir avec l'alcali du ciment (réactivité alkali-carbonate); cependant, leur réaction est moins nocive. La réactivité alkali-granulat est affectée par la quantité, le type et la taille des particules du matériau réactif, ainsi que par la teneur en alcali soluble et en eau du béton.

La meilleure façon d'évaluer le potentiel de réactivité alkali-agrégat consiste à examiner l'historique de service sur le terrain. Pour les granulats sans historique de service sur le terrain, plusieurs tests de laboratoire sont disponibles pour vérifier la réactivité potentielle alkali-granulat. Le test ASTM C227 peut être utilisé pour déterminer la réactivité alkali-silice potentiellement

expansive des combinaisons ciment-granulats. Le test chimique rapide (ASTM C289) permet d'identifier les granulats siliceux potentiellement réactifs. La norme ASTM C586 est utilisée pour déterminer les granulats de roche carbonatée potentiellement expansifs (réactivité alcali-carbonate).

Si un granulats réactif aux alcalis doit être utilisé, la réactivité peut être minimisée en limitant la teneur en alcali du ciment. La réactivité peut également être réduite en gardant la structure en béton aussi sèche que possible. Les cendres volantes, le laitier granulé de haut fourneau broyé, la fumée de silice ou les pouzzolanes naturelles peuvent être utilisés pour contrôler la réactivité alcali-silice. Des adjuvants à base de lithium peuvent également être utilisés dans le même but.



Figure I.5. Détérioration du béton sous l'effet d'alkali réaction.

I.5. Influence des caractéristiques des granulats dans le béton :

En tant que matériau composite, on peut s'attendre à ce que les performances des matériaux en béton dépendent des propriétés des interfaces entre ses deux principaux composants, les granulats et la pâte de ciment.

Hu & Stroeven [4] étudièrent la microstructure au niveau de la zone de transition interfaciale (ITZ). En général, elle est supposée être différente de celle du matériau premier, les propriétés du béton conventionnel se sont avérées favorisées par la densité optimale des granulats. La taille des particules est un dénominateur commun, la ségrégation de taille dans l'ITZ parmi les particules de liant à l'état frais, observée dans l'études est régit par la densité ainsi que la capacité de liaison physique à l'intérieur de ces zones autour des particules de granulats. Les propriétés de l'ITZ ont un impact direct sur les propriétés du béton, par conséquent, sur les propriétés mécaniques.

Hu & Stroeven à travers des algorithmes (Tableau I-1) trouvèrent qu'avec un rapport eau-ciment identiques, la teneur en eau augmente dans le cas d'un granulats de rugosité (R) et de texture (T) plus élevées. Comme exemple, la fraction volumique optimale de granulats fins (sable) doit être augmentée de 25 % à 30 % lorsque le granulats grossier de gravier fluvial est remplacé par le

granulat concassé (tableau 5). Les influences évidentes des caractéristiques de forme et de texture des granulats grossiers sur la teneur en eau, la fraction volumique des granulats fins (sable) et le facteur de compactage indiquent que la forme des granulats doit être intégrée comme un paramètre technique important dans la conception du dosage du mélange de béton.

Tableau I.1. Fraction volumique optimal par l'analyse de Fourier selon Hu & Stroeven.

Parameter	Fluvial gravel	Crushed rock
Lumpiness (L)	0.187	0.201
Roughness (R)	0.021	0.030
Texture (T)	0.011	0.014
A_2/A_4	5.315	6.011
A_3/A_4	2.077	3.707
Shape index ψ_{st}	1.961	2.486
Circular index	0.678	0.662
Estimated packing density (-)	0.55	0.49
Experimental packing density (-)	0.56	0.52
Optimal volume fraction of fine aggregate	0.25	0.30

Rocco & Elices [5] ont étudié les propriétés standard des bétons, comme le module d'élasticité et la résistance à la traction.

Ils ont constaté que pour les interfaces ciment-granulat fortes, le béton fabriqué avec des granulats concassés fournit des valeurs de module d'élasticité un peu plus élevées que le béton fabriqué avec des granulats sphériques. Cependant, ils remarqués une tendance de diminution du module avec la diminution des tailles des deux granulats (Figure I-6).

La résistance à la traction ne dépend presque pas de la forme et de la taille des granulats comme ils constaté. Pour les interfaces matrice-granulat faibles, le module d'élasticité est plus faible et aucun effet de la forme des granulats n'est apparent. La résistance à la traction est toujours bien inférieure à la matrice et ne semble pas dépendre de la forme des granulats (Figure I-7).

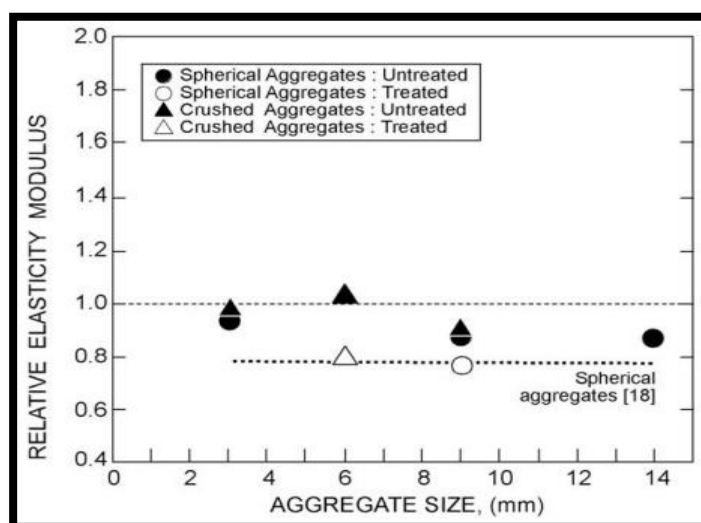


Figure I.6. Module d'élasticité en fonction de la taille des granulats selon Rocco & Elices.

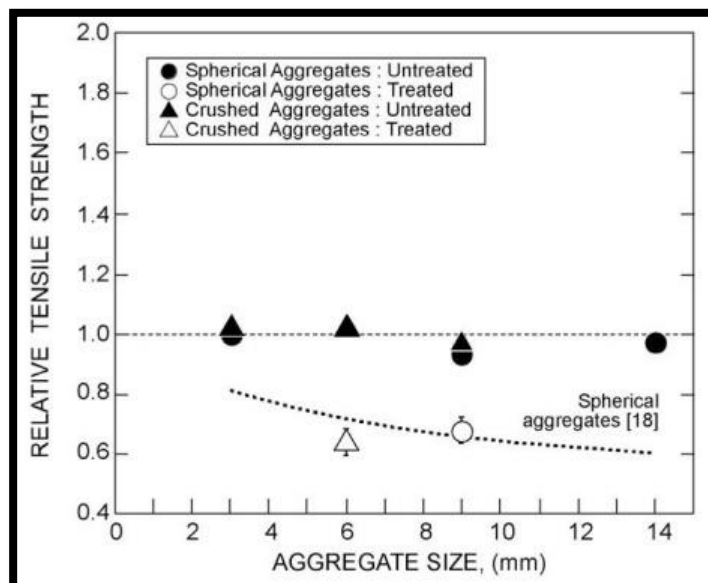


Figure I.7. Résistance à la flexion en fonction de la taille des granulats selon Rocco & Elices.

Rocco & Elices remarqués aussi que la ténacité est caractérisée par l'énergie de rupture spécifique et la longueur caractéristique. Pour les interfaces matrice-granulats solides, le béton fabriqué avec des granulats concassés fournit des valeurs d'énergie de rupture légèrement plus élevées que pour le béton fabriqué avec des granulats sphériques, et l'énergie de rupture augmente avec la taille des granulats pour les deux types de granulats (Figure I-8).

En ce qui concerne la longueur caractéristique, aucune tendance claire n'a été trouvée concernant l'influence de la forme des granulats bien qu'elle augmente avec la taille des granulats. Pour les interfaces matrice-granulats faibles, l'énergie de rupture est plus élevée pour les granulats concassés que pour les granulats sphériques.

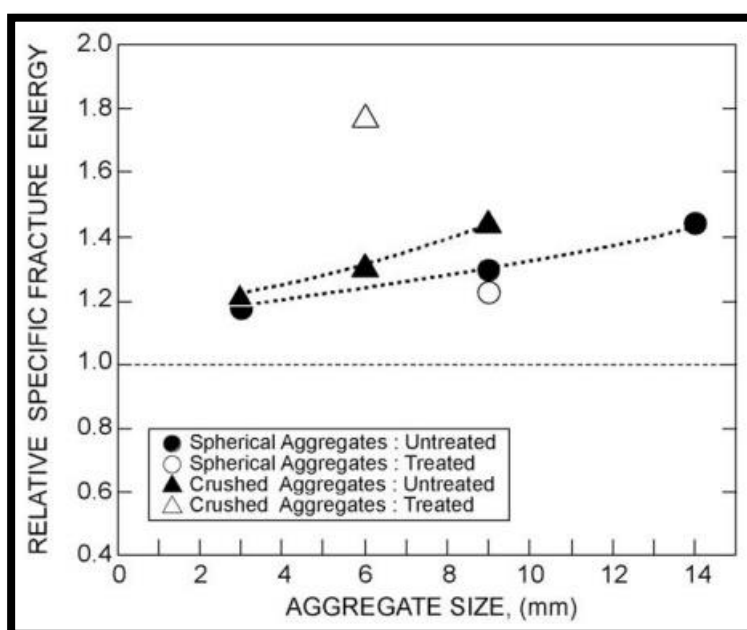


Figure I.8. Energie de fracture en fonction de la taille des granulats selon Rocco & Elices.

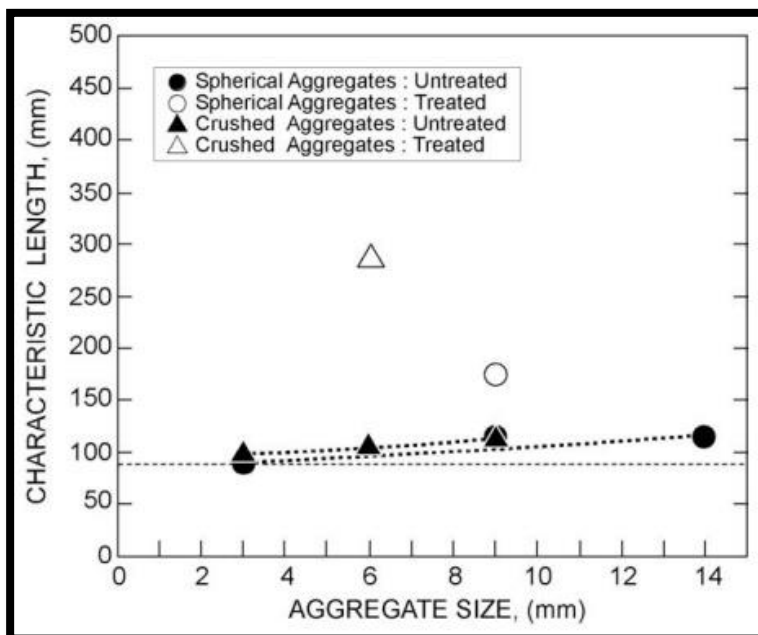


Figure I.9. La longueur de granulats en fonction de la taille des granulats selon Rocco & Elices.

Kwan & Mora [6] ont constaté que parmi les six paramètres de forme mesurés, le taux d'aplatissement, le facteur de forme et le taux de convexité, donnent respectivement les coefficients de corrélation de 0.873, 0.859 et 0.828 lorsqu'ils sont corrélés à la densité de tassement (Figure I-10). Ils semblent avoir les effets les plus importants sur la densité de tassement d'un granulat. Le rapport d'allongement a le plus petit effet sur le tassement.

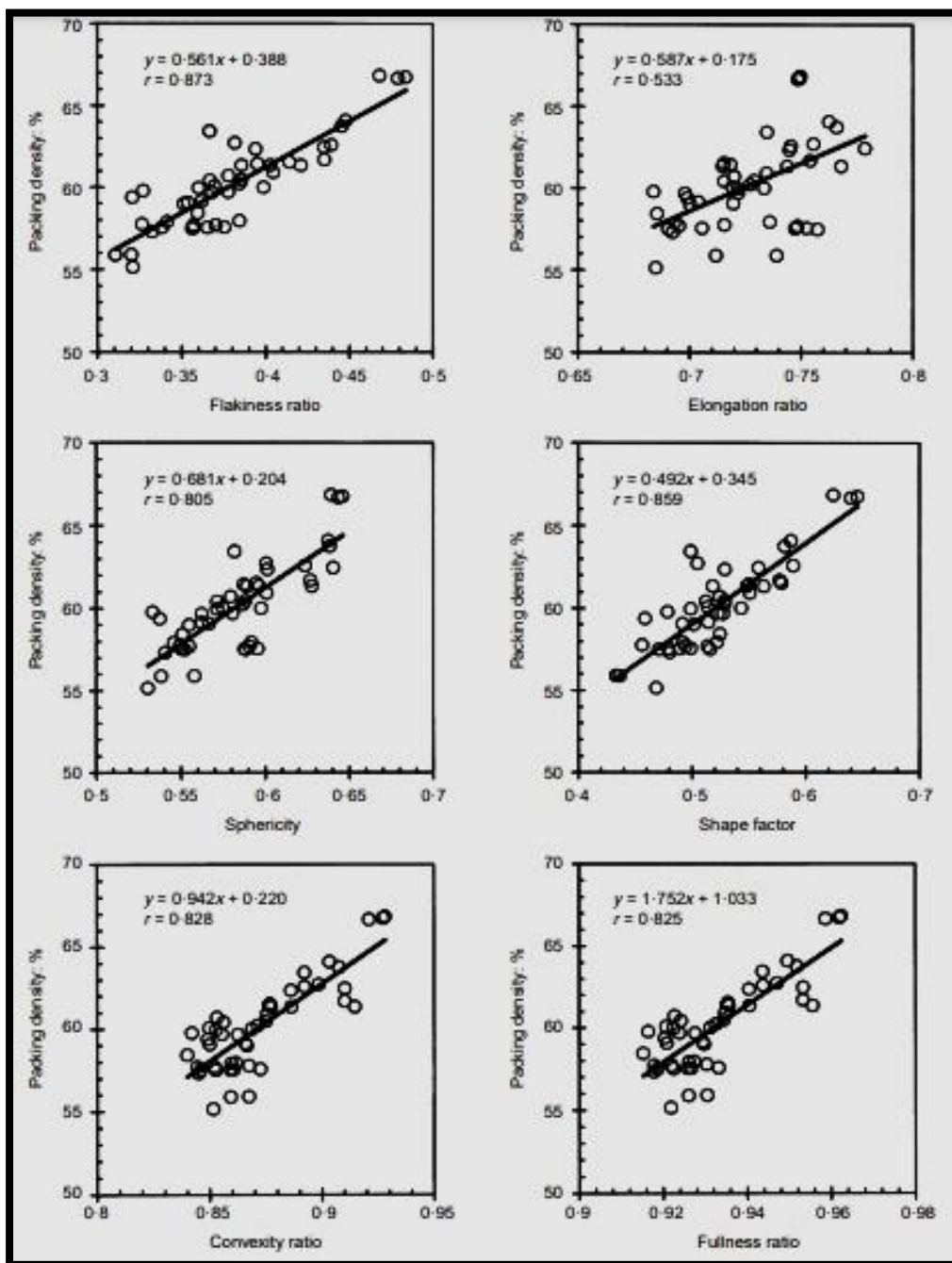


Figure I.10. Corrélation de la densité de tassement aux paramètres de forme des granulats selon Kwan & Mora.

D'une façon générale, La forme d'une particule de roche peut être caractérisée en termes de forme (forme globale), de rondeur (lissé à grande échelle) et de texture de surface (lissé à petite échelle). La forme, la rondeur et la texture de surface sont des propriétés indépendantes de la forme, bien qu'il puisse y avoir une corrélation naturelle entre elles en raison des facteurs physiques communs qui les affectent. La forme est normalement mesurée en termes de facteurs de forme qui sont définis comme les rapports des trois dimensions principales : longueur, largeur et épaisseur. Les facteurs de forme et les dérivés des facteurs de forme tels que la sphéricité et le facteur de forme sont des mesures de forme et ne peuvent pas être utilisés pour mesurer la rondeur. La rondeur n'est pas une mesure de la sphéricité, bien qu'elle soit mieux affichée par une sphère. Il y a deux aspects de la rondeur, à savoir la rondeur des coins et la rondeur du contour de la particule.

La rondeur des coins est à l'opposé de la netteté des coins et est plus importante lorsque l'on considère les propriétés abrasives et de perforation des particules. D'autre part, la rondeur du contour est généralement mesurée en termes de convexité et est plus importante lorsque l'on considère la capacité d'emboîtement et la densité de tassement des particules. La rondeur et l'angularité sont opposées. Par conséquent, une mesure d'arrondi est également une mesure d'angularité.

La texture de surface est une mesure du lissé ou de la rugosité de la surface des particules. Il peut être mesuré en termes d'amplitude et de netteté des saillies et des indentations à petite échelle sur la limite des particules. Étant donné que les caractéristiques de texture de surface sont inférieures d'un ordre de grandeur aux caractéristiques de rondeur, il est peu probable que la texture de surface ait un effet significatif sur la densité de tassement.

Dans un autre contexte, lors de leur travail sur des bétons à granulats légers d'argile expansée (A, B, C), Alexandre Bojas et al. [7] constatèrent (Figure I-11) une absorption finale plus élevée dans les bétons à granulats légers par rapport aux bétons à granulats naturels (N). Les granulats légers de plus faible porosité et avec une enveloppe externe plus dense ne participent pas de manière significative au mécanisme d'absorption du béton. La meilleure qualité de la pâte et de l'ITZ, ainsi que l'enveloppe extérieure plus dense de ces granulats légers, limitent l'accès de l'eau à leur intérieur.

De plus, comme la structure poreuse des granulats légers est plus grossière que celle de la pâte, il y a une forte diminution du taux d'absorption près des granulats, c'est-à-dire que les pores plus grands des granulats légers coupent les canaux capillaires plus fins de la pâte. Donc lorsque les pores plus petits fusionnent avec des pores plus grands, il y a une réduction significative du taux d'absorption capillaire.

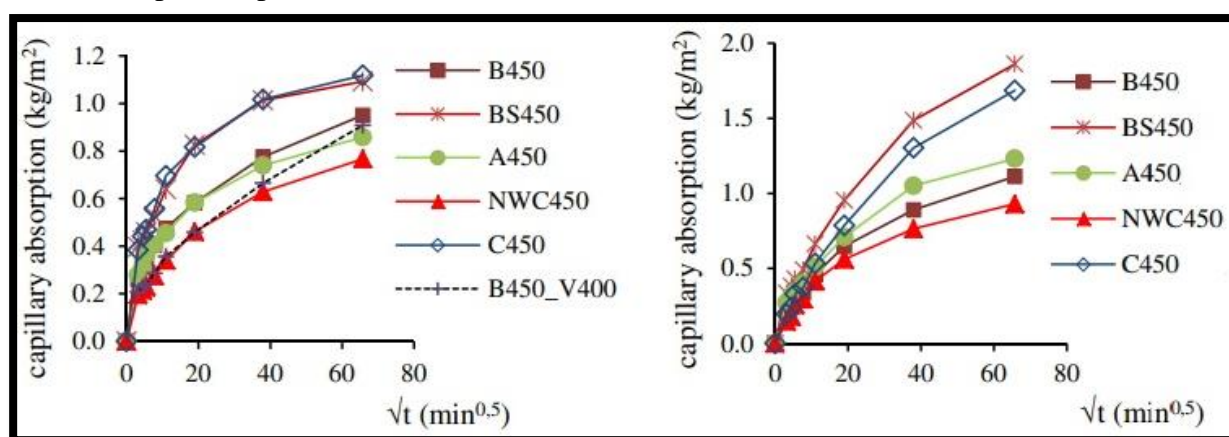


Figure I.11. Absorption capillaire des bétons étudiés selon Alexandre Bojas et al.

Avec l'augmentation du rapport E/C, le coefficient d'absorption est peu affecté par le type de granulat (Figure I-12), même en cas d'utilisation de granulat léger. En effet, la teneur en eau de ces bétons est supérieure à celle de ceux testés en figure I-11, notamment près de la surface des éprouvettes, car il y a une meilleure redistribution de l'humidité dans l'ensemble de l'éprouvette. Seuls les pores plus gros, qui ne sont pas saturés, sont disponibles pour l'absorption. Il y a donc une faible participation des granulats à l'absorption, même lorsqu'on utilise du sable léger.

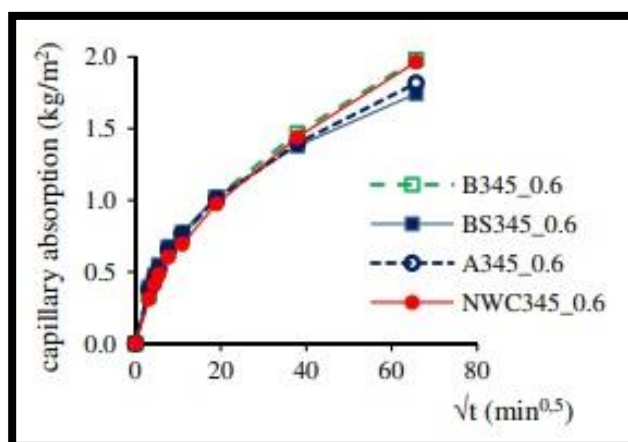


Figure I.12. Absorption capillaire des bétons étudiés avec E/C=0.6 selon Alexandre Bojas et al.

Le béton recyclé comme granulat dans de nouveaux bétons a fait aussi l'objet de différentes études. Yehia et al. [8] ont constaté avec le microscope électronique à balayage (MEB) une bonne liaison et aucun signe d'effet de paroi au niveau de la zone de transition interfaciale (ITZ) entre la pâte de ciment et l'agrégat recyclé ont été observés dans les mélanges à faibles perméabilités. Dans les mélanges à hautes perméabilités une couche poreuse existée entre le granulat et la pâte de ciment, confirmant la formation de l'effet de paroi à ITZ. Cette couche, adhérant au granulat grossier, en plus de différents contaminants et vides, a contribué à une absorption plus élevée et à une perméabilité aux ions chlorure plus élevée dans cette catégorie de mélange. Ce type de fissures se produit généralement en raison du retrait et de la différence de module d'élasticité entre la pâte et les particules d'agrégats grossiers (Figure I-13).

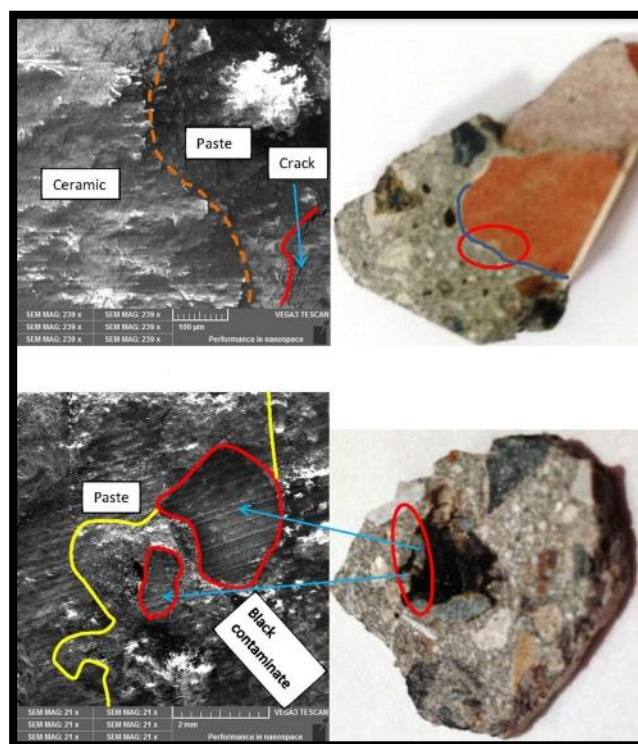


Figure I.13. Image MEB des bétons à granulats recyclés selon Yehia et al.

Ils ont remarqué aussi avec le MEB que, quelle que soit la forme de l'échantillon, les fissures ont commencé au coulage du mortier adhérent au granulat recyclé. Cela indique, dans ce cas, une faiblesse de l'ancien mortier qui a conduit à une liaison réduite entre l'ancien et le nouveau mortier (Figure I-14).

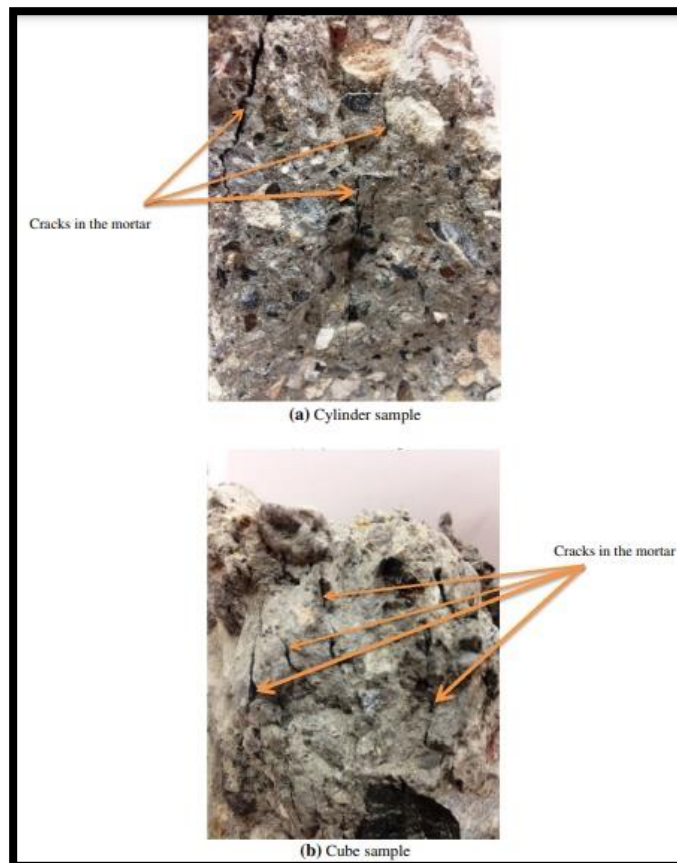


Figure I.14. Image MEB d'initiation et propagation de fissures dans le béton RA selon Yehia et al.

Kou et al. [9] dans la première phase de leur étude, ont trouvés que la résistance à la compression du béton diminue avec l'augmentation de la teneur en granulats recyclés RA (Tableau I-2). Après exposition à différentes températures l'inverse c'est produit. La résistance résiduelle relative à la compression du béton réalisé avec RA est supérieure à celle du béton réalisé avec des granulats naturels pour tous les types de liants utilisés. Cet effet inverse est dû au coefficient de dilatation thermique (CTE) de l'interface ancien/nouveau mortier (Figure I-15).

Tableau I.2. Résistance à la compression et absorption capillaire des bétons étudiés selon Kou et al.

Mix notation	Compressive strength (MPa)	Capillary water absorption coefficient (kg/m ² .min ^{0.5})
Control	52.3	2.13
RA50	47.6	2.00
RA100	44.3	2.54
C-GGBS55	47.2	1.68
RA50-GGBS55	45.1	1.96
RA100-GGBS55	43.6	1.79
C-FA35	42.2	2.65
RA50-FA35	40.3	3.03
RA100-FA25	40.2	3.17

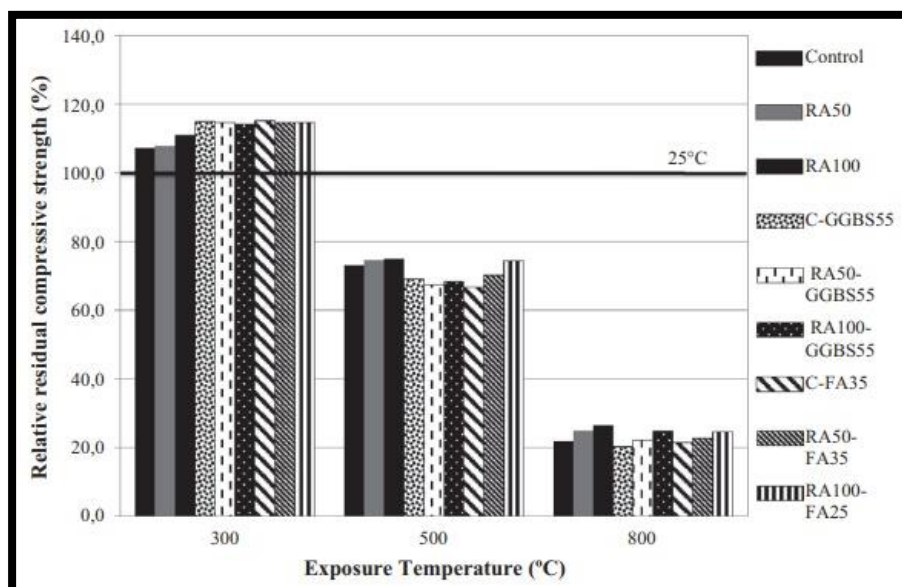


Figure I.15. Résistance à la compression relative à 25°C après exposition à haute température selon Kou et al.

Après exposition à des températures inférieures à 500 C, les coefficients d'absorption capillaire des bétons RA étaient supérieurs à ceux du béton à granulats naturels avec tous les types de liants utilisés. Ceci est dû à la plus grande porosité du RA, et une grande quantité de mortier total. Après l'exposition à 800 C, le béton préparé avec 100% de RA, avait un coefficient d'absorption d'eau plus faible que le béton préparé avec les granulats naturels en raison du CTE plus adéquat du RA avec le nouveau mortier en pâte de ciment (Figure I-16).

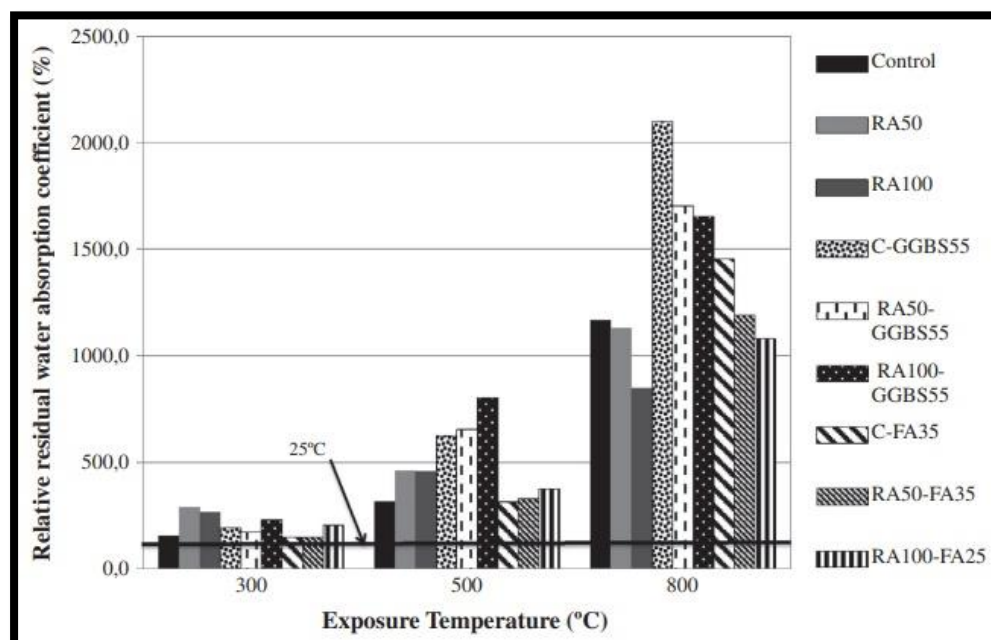


Figure I.16. Absorption capillaire relative à 25°C après exposition à haute température selon Kou et al.



CHAPITRE II :
Valorisation des
granulats recyclés dans
les bétons

II.1.Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons la gestion des différents types de déchets et les techniques de traitement ou d'élimination, ainsi le recyclage et la réutilisation des déchets dans le domaine de génie civil.

II.2.Définition :

Les déchets sont des matériaux, substances ou produits qui sont considérés comme inutiles, indésirables ou en fin de vie et qui sont destinés à être éliminés ou traités.

Ils peuvent être produits par les activités humaines, telles que la consommation, la production, la construction ou le traitement des déchets, ou ils peuvent être naturels, tels que les débris de roche ou les déchets organiques. Les déchets peuvent être solides, liquides ou gazeux et peuvent contenir des substances dangereuses ou toxiques pour l'environnement et la santé humaine. Le mot « déchet » apparaît au XIV^{ème} siècle, il vient du verbe déchoir qui traduit « la diminution de valeur d'une matière ou d'un objet, jusqu'au point où il devient inutilisable en un lieu et en un temps donnés » [10].

L'élimination des déchets comporte les opérations de collecte, transport, stockage, tri et traitement nécessaires à la récupération des éléments et matériaux réutilisables ou de l'énergie, ainsi qu'au dépôt ou au rejet dans le milieu naturel de tous autres produits dans des conditions propres à éviter les nuisances [11].

II.3.Les différents types des déchets :

Il existe différents types de déchets, qui peuvent être classés en fonction de leur origine, de leur composition ou de leur dangerosité.

II.3.1.Les déchets ménagers et assimilés :

Ce sont les déchets produits par les ménages, tels que les déchets alimentaires, les emballages, les journaux, les magazines, les bouteilles en verre ou en plastique, etc.



Figure II.1. Déchets ménagers et assimilés.

II.3.2. Les déchets industriels :

Ce sont les déchets produits par les activités industrielles, tels que les résidus de production, les emballages de produits industriels, les huiles usées, les métaux, les solvants, etc.



Figure II.2. Les déchets industriels.

II.3.2.1. Les déchets hospitaliers :

Ce sont les déchets produits par les établissements de santé, tels que les seringues usagées, les produits pharmaceutiques périmés, les produits de soin contaminés, etc.



Figure II.3. Les déchets hospitaliers.

II.3.2.2. Les déchets dangereux :

Ce sont les déchets qui contiennent des substances dangereuses pour l'environnement ou la santé humaine, tels que les batteries, les piles, les produits chimiques, les pesticides, les huiles usées, etc.



Figure II.4. Déchets dangereux.

II.3.3. Les déchets de chantier :

Ce sont les déchets produits par les activités de construction, tels que les gravats, les matériaux de démolition, les emballages, les plastiques, les métaux, etc.



Figure II.5. Déchets de chantier.

II.4. La gestion des déchets :

La gestion des déchets est importante pour minimiser l'impact environnemental des projets de construction et pour promouvoir une économie circulaire en valorisant les matériaux recyclables. Les entreprises de construction peuvent adopter des pratiques responsables en matière de gestion des déchets en réduisant les pertes de matériaux, en encourageant le recyclage et en travaillant en partenariat avec des fournisseurs de services de gestion des déchets pour minimiser l'impact environnemental des projets.

La gestion des déchets implique généralement les étapes suivantes la collecte, au tri, au transport, au stockage, à la valorisation et à l'élimination des déchets, y compris le contrôle de ces opérations [12] :

II.4.1. La collecte :

Les déchets sont collectés sur les chantiers et stockés dans des zones de stockage temporaires. Les déchets non recyclables sont incinérés ou enfouis en centres d'enfouissement techniques.

Les déchets collectés pour le recyclage ne sont pas destinés ni à l'enfouissement ni à l'incinération mais à la transformation. La collecte s'organise en conséquence.

A la suite de la collecte, les déchets, triés ou non, sont envoyés dans un centre de tri où différentes opérations permettent de les trier de manière à optimiser les opérations de transformation. Le tri manuel est une de ces opérations [13].



Figure.II.6. Collecte des déchets.

II.4.2. Le tri :

Les déchets sont triés en fonction de leur type et de leur composition, afin de faciliter leur traitement ultérieur.

II.4.3. Le recyclage :

Les matériaux recyclables sont séparés et envoyés à des centres de recyclage, ils sont intégrés dans la chaîne de transformation qui leur est spécifique. [13] Pour être transformés en nouveaux produits.

II.4.4. L'élimination :

Les déchets non recyclables sont éliminés dans des sites d'enfouissement ou d'autres installations appropriées.

II.5. Les déchets dans le génie civil :

Le génie civil est une branche du génie qui se concentre sur la conception, la construction et l'entretien d'infrastructures telles que les routes, les ponts, les tunnels, les barrages, les canaux et les bâtiments. Cette activité génère une grande quantité de déchets, qui doivent être gérés de manière efficace pour minimiser leur impact sur l'environnement et la santé publique.

Les principaux types de déchets dans le génie civil comprennent les gravats, les matériaux de construction usagés, les résidus de béton, les métaux, les déchets de bois et les emballages de matériaux.

Les déchets de démolition de bâtiments ou de routes peuvent donc être constitués de l'ensemble de ces types de déchets.

La composition approximative des déchets de démolition se répartit comme suit:

- béton (40 %),
- briques (30 %),
- bois (10 %),
- plastique (5 %),
- métaux (5 %),
- autres éléments (10 %).

La démolition des routes génère des déchets d'enrobés mais également des déchets de bétons hydrauliques [13].



Figure.II.7. Composition des déchets du bâtiment.

II.5.1. Le laitier :

Les laitiers sidérurgiques sont des matières minérales artificielles, qui sont par l'industrie du fer et de l'acier. Ces matériaux sont générés en même temps que la fonte sidérurgique (pour les laitiers de haut-fourneau) ou que l'acier (laitiers d'aciérie), sous forme liquide à une température proche de 1500°C : ce sont des « co-produits » de la sidérurgie.

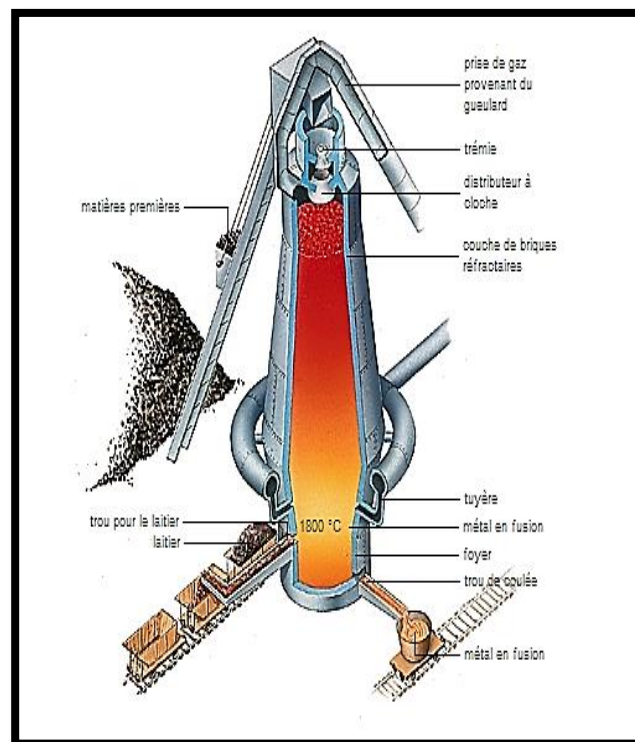


Figure.II.8. Schéma de principe d'un haut fourneau.

II.5.2. Mâchefer :

Le mâchefer est un résidu solide qui est généré lors de la combustion du charbon dans les centrales électriques, les usines de traitement des déchets, les usines d'incinération des déchets et les fonderies. En génie civil, le mâchefer peut être considéré comme un déchet, car il doit être géré de manière responsable pour minimiser son impact environnemental.

II.5.3. Le verre :

Le verre est un matériau couramment utilisé dans le génie civil pour la fabrication de fenêtres, de portes, de murs rideaux, de balustrades, de panneaux de signalisation, de pavements et d'autres produits.

Cependant, la fabrication, l'utilisation et l'élimination du verre peuvent générer des déchets qui doivent être gérés de manière responsable pour minimiser leur impact environnemental.

II.5.4. Les pneus usagés :

Les pneus usagés sont un type de déchet courant dans le génie civil. Ils sont générés lors du remplacement des pneus sur les véhicules, les engins de construction, les machines et autres équipements. Les pneus usagés sont un déchet problématique car ils sont volumineux, ne se décomposent pas facilement et peuvent causer des problèmes environnementaux et de santé publique s'ils ne sont pas gérés correctement.

II.5.5. Les déchets céramiques :

Les déchets de céramique sont des matériaux céramiques qui ne sont plus utilisables ou qui sont considérés comme des déchets. Ils peuvent provenir de la fabrication, de la construction ou de la démolition d'objets en céramique, tels que des tuiles, des pots, des bols, des vases, des plaques et des assiettes.

L'industrie de la céramique de vaisselle en porcelaine fine de l'Inde produit près de 343 000 tonnes de produits par an. Les produits de vaisselle en porcelaine fine cuite jetés (près de 15 à 20 % de la production totale) ont peu ou pas de potentiel de recyclage dans le même secteur. [14]

Ces déchets sont régulièrement déversés comme matériaux d'enfouissement ou dans diverses décharges à ciel ouvert.



Figure II.9. Les déchets céramiques.

Les déchets de céramique peuvent avoir une composition variée en fonction de leur type et de leur origine. Cependant, la plupart des déchets de céramique sont principalement composés de matériaux d'argile et de minéraux non métalliques, tels que le feldspath, la silice et le kaolin.

Par exemple, les déchets de céramique issus de la fabrication de tuiles peuvent contenir des matières premières telles que le sable, le quartz et le calcaire, tandis que les déchets de céramique issus de la production de porcelaine peuvent contenir des ingrédients spécifiques tels que la frite et le kaolin.

En raison de leur composition variée, il est important de gérer les déchets de céramique de manière appropriée pour minimiser leur impact sur l'environnement et la santé publique.

Les déchets de céramique peuvent être générés à différentes étapes de la production de céramique. Ce type de déchets peuvent être classés en plusieurs catégories :

**Déchets de matières premières :* ces déchets comprennent les matériaux non utilisés ou rejetés pendant la préparation des matières premières, tels que les excès de sable, de kaolin ou de feldspath.

**Déchets de production* : ces déchets comprennent les produits finis de qualité inférieure, les produits endommagés ou cassés pendant la production, ainsi que les déchets générés lors de la finition et de la cuisson.

**Déchets de maintenance* : ces déchets comprennent les pièces de machines cassées, les outils de coupe usés et les équipements de production obsolètes.

Les déchets de céramique peuvent être difficiles à gérer en raison de leur nature abrasive et de leur résistance à la décomposition. Il est important de les trier et de les stocker dans des conteneurs spéciaux pour éviter toute contamination et les éliminer conformément aux réglementations environnementales en vigueur.

Les déchets de céramique peuvent être recyclés ou réutilisés pour d'autres applications, tels que la production de nouveaux produits céramiques ou comme matériaux de construction

II.5.5.1. Recyclage des déchets céramiques dans le béton :

Les déchets de céramique peuvent être utilisés comme granulats dans la production de béton pour remplacer partiellement ou complètement les granulats naturels.

Le recyclage de la céramique sanitaire dans le béton est une pratique courante dans l'industrie de la construction. La céramique sanitaire est constituée de matériaux tels que la porcelaine, le grès et le vitrifié, qui sont des matériaux durs et résistants.

Le recyclage de la céramique sanitaire dans le béton peut être bénéfique de plusieurs façons. Il permet de réduire la quantité aux décharges et réduire les coûts de production du béton. Ainsi plusieurs chercheurs se sont investis dans cet axe de recherche.

Medina et al. [15] ont réutilisé des déchets comme granulats grossiers recyclés en substitution partielle (15%, 20% et 25%) des granulats grossiers naturels dans la fabrication des bétons. Les résultats démontrèrent un comportement mécanique supérieur par rapport au béton conventionnel (Tableau II-1). Ils ont également observé que la microstructure dans la zone de transition interfaciale (ITZ) entre le granulat céramique recyclé et la pâte était plus compacte que dans le cas du granulat et de la pâte naturels. Cette amélioration est due en fait à l'augmentation du rapport E/C avec chaque augmentation du pourcentage de déchets céramique comme le témoigne le tableau II-2.

Tableau II.1. Résistances à la compression des bétons dans l'étude de Medina et al.

Type concrete	Compressive strength (MPa)		
	7 days	28 days	90 days
RC	30.81 ± 1.57 ^a	35.87 ± 1.49	41.33 ± 1.55
CC-15	33.81 ± 1.19	37.24 ± 1.58	42.16 ± 1.89
CC-20	35.38 ± 1.24	38.53 ± 1.16	43.00 ± 1.05
CC-25	37.32 ± 1.09	39.83 ± 1.99	44.10 ± 1.13

Tableau II.2. Les quantités de matériaux utilisés dans les bétons dans l'étude de Medina et al.

Type concrete	Materials (kg/m ³)				
	Sand	Gravel	Ceramic	Cement	Water
Concrete reference (RC)	716.51	1115.82	0.00	398.52	205.00
Concrete containing 15% recycled aggregate (CC-15)	723.48	948.45	162.32	390.36	205.00
Concrete containing 20% recycled aggregate (CC-20)	725.81	892.66	216.43	387.64	205.00
Concrete containing 25% recycled aggregate (CC-25)	728.14	836.87	270.53	384.91	205.00

Cette amélioration est due à la forme plus irrégulière que les granulats de déchets céramiques présentent, ce qui se traduit par une surface spécifique supérieure à celle des granulats naturels, qui sont eux arrondis et donc dépourvus d'arêtes. De plus, cette forme irrégulière fournit une liaison plus élevée entre l'agrégat céramique recyclé et la pâte (Figure II-10).

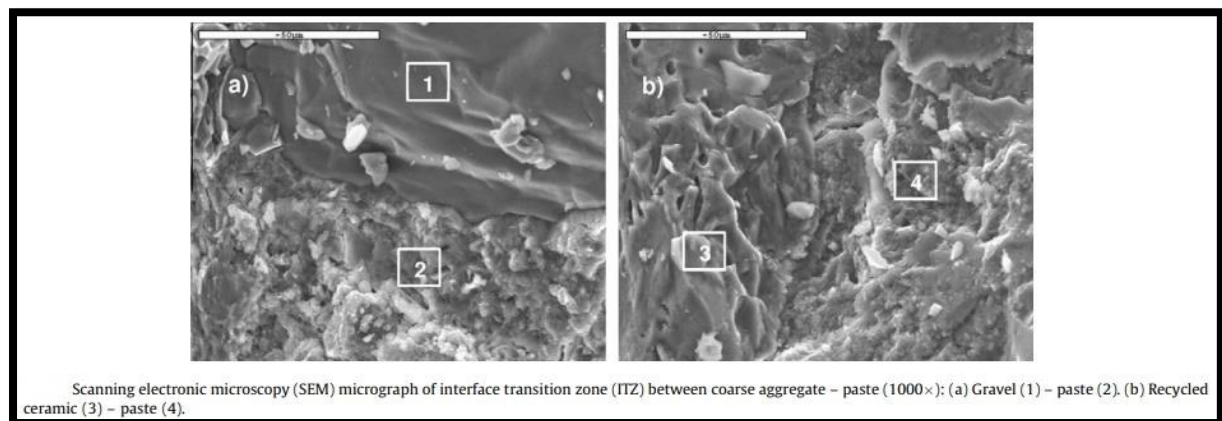


Figure II.10. Image MEB de l'ITZ selon Medina et al.

Dans une autre étude de Medina et al. [16] ils ont étudié au microscope électronique à balayage MEB les alentours de l'ITZ.

Ils ont constaté que l'ITZ entre le granulat recyclé-pâte était plus étroite, plus compacte et moins poreuse que l'interface le granulat naturel-pâte, et il y avait une meilleure intégration du granulat recyclé avec la matrice de béton composée de calcium-silicate-hydrate (CSH), conférant aux bétons céramiques recyclés un comportement mécanique amélioré (Figure II-11). Ils font remarquer qu'une ITZ moins poreuse et plus continue conduit à des bétons moins perméables aux agents agressifs (chimiques, physiques et environnementaux).

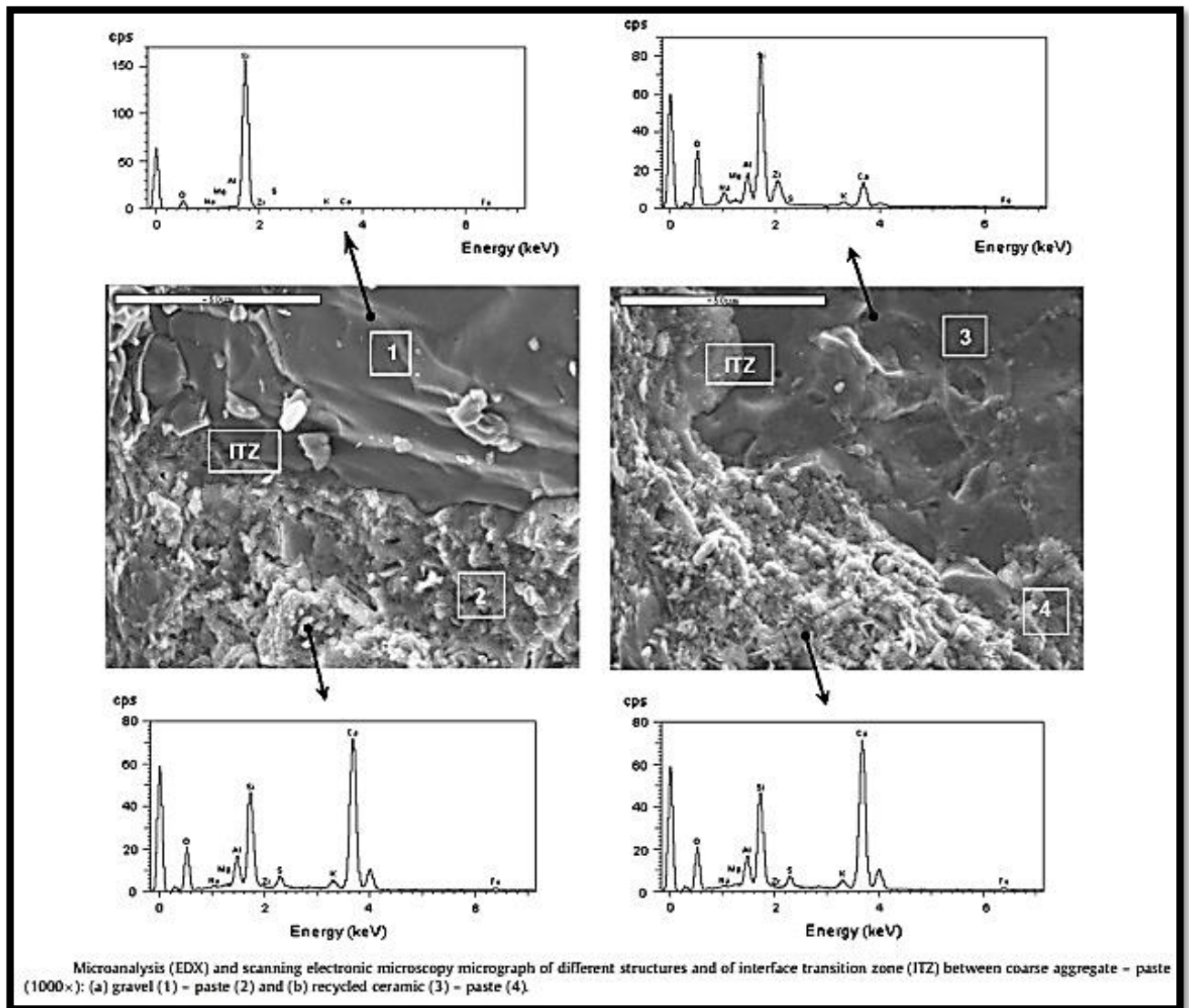


Figure II.10. Image MEB de l'ITZ selon Medina et al.

D'un autre coté le granulats céramique présente une composition chimique typique des matériaux pouzzolaniques, donc le fait que ces déchets céramiques soient incorporés fait que l'activité pouzzolanique sera présente à la partie superficielle du granulats ce qui est suffisant pour produire une réaction avec une partie de la portlandite présente au voisinage du granulats céramique, donnant naissance à des produits hydratés ayant des propriétés d'agglomération tels que les silicates de calcium hydratés (CSH) et les hydrates d'aluminate de calcium avec une structure moins poreuse et compacte.

Ce CSH montre une structure typiquement peu cristalline ou quasi-amorphe des silicates de calcium hydratés, et formaient une matrice dense, compacte et continue (Figure II-10).

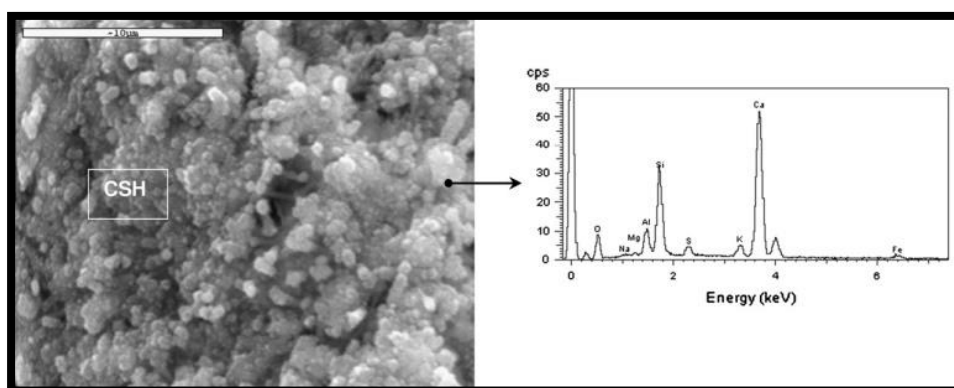


Figure II.11. Image MEB de CSH selon Medina et al.

Dans une troisième étude Medina et al. [17] constatèrent que la porosité totale du béton a augmenté avec le taux de remplacement et était de 4 % plus élevée dans le CC-25 (substitution de 25%) que dans le RC. Cette légère augmentation est attribuée au fait que les granulats céramiques recyclés sont plus poreux que le gravier.

Le béton recyclé avait une proportion plus faible de macropores et un pourcentage plus élevé de pores capillaires de taille moyenne (Tableau II-3). A un taux de remplacement de 25 %, le volume des macropores a diminué de 13% et le diamètre moyen des pores de 31% par rapport au RC. Le béton CC-25 avait 43% plus de pores capillaires de taille moyenne et 46% plus de petits pores que le béton RC.

Concrete	Total porosity (vol.%)	Pore volume (%) by pore size and type			Mean pore diameter (µm)
		Macropores ($\phi \geq 0.05 \mu\text{m}$)	Medium capillary ($0.05 < \phi \leq 0.01 \mu\text{m}$)	Small capillary ($0.01 < \phi \leq 0.002 \mu\text{m}$)	
RC	15.72 ± 0.32	12.54 ± 0.16	2.86 ± 0.09	0.32 ± 0.01	0.067 ± 0.0031
CC-20	16.21 ± 0.48 (+3.10%)	11.88 ± 0.23 (-5.28%)	3.98 ± 0.10 (+38.98%)	0.36 ± 0.01 (+10.47%)	0.056 ± 0.0016 (-16.30%)
CC-25	16.38 ± 0.59 (+4.15%)	10.88 ± 0.36 (-13.18%)	5.02 ± 0.08 (+42.99%)	0.47 ± 0.01 (+45.94%)	0.045 ± 0.0030 (-31.40%)

Tableau II.3. Résistances à la compression des bétons dans l'étude de Medina et al.

La concentration d'ions la plus élevée se trouvait sur le bord extérieur du béton (Figure II-12) et diminué dans les 5 premiers mm pour atteindre zéro à 25, 26 et 27 mm dans RC, CC-20 et CC-25, respectivement. En d'autres termes, la pénétration des chlorures était légèrement plus élevée dans les bétons contenant 20 % et 25 % de granulats céramiques sanitaires que dans le matériau conventionnel.

Cette augmentation observée est due à l'effet des granulats recyclés sur la porosité totale et capillaire. La figure II-13, montre que la pénétration du chlorure est linéairement liée à la porosité capillaire, compte tenu de l'impact des pores capillaires de taille moyenne et petite sur la diffusion et l'absorption.

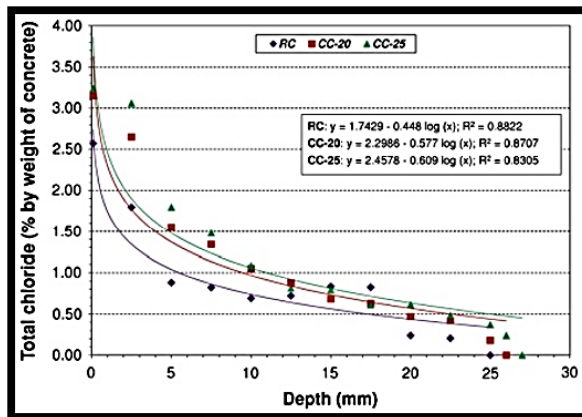


Figure II.12. Profils de pénétration des chlorures dans les bétons selon Medina et al.

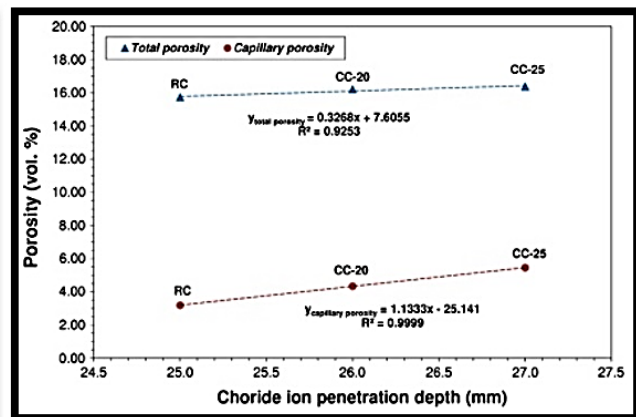


Figure II.13. Relation entre la profondeur de pénétration des chlorures et les caractéristiques du système poreux selon Medina et al.

Rashid et al. ont [18] maintenu le même rapport E/C élevé 0.55 sans l'ajout d'adjuvant et remplacèrent les granulats naturels par des granulats céramique à hauteur de 10, 20 et 30% dans leur étude. Ils ont remarqué une diminution de l'affaissement (Figure II-14), en raison d'une surface vitreuse et une argile capable d'absorber une quantité importante d'eau, ce qui entraîne une diminution de son niveau de maniabilité. D'autres raisons de la réduction de l'ouvrabilité sont la porosité et la forme de l'agrégat. Ainsi,

La quantité d'humidité requise pour la fluidité du béton céramique est inférieure au niveau souhaité.

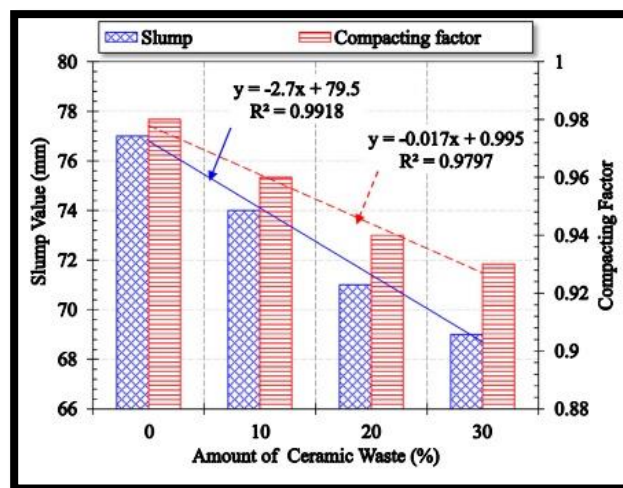


Figure II.14. Influence des granulats céramique sur l'ouvrabilité des bétons selon Rashid et al.

Ils constaté aussi une amélioration de la résistance à la compression au-delà de 28 jours de cure (Figure II-15a). Cette amélioration est due à la forme rugueuse des granulats de déchets céramiques. Il ressort clairement de la Figure II-15b, que l'augmentation de la résistance à la compression à l'âge de 63 jours est supérieure à celle du gain de résistance après 7 et 28 jours, par rapport à l'échantillon témoin. Une absorption d'eau plus élevée des déchets céramiques par rapport au naturel fournit un environnement approprié pour une hydratation supplémentaire du béton et

une augmentation de la résistance mécanique. Parce qu'il s'agit d'un matériau poreux qui agit comme un milieu de durcissement humide pour l'hydratation de la pâte de ciment, réduit le retrait autogène qui se traduit finalement par une augmentation de sa résistance mécanique. Le granulat céramique dans le béton provoque un raffinement du système poreux, réduit le volume des macro-pores et augmente le nombre de pores capillaires.

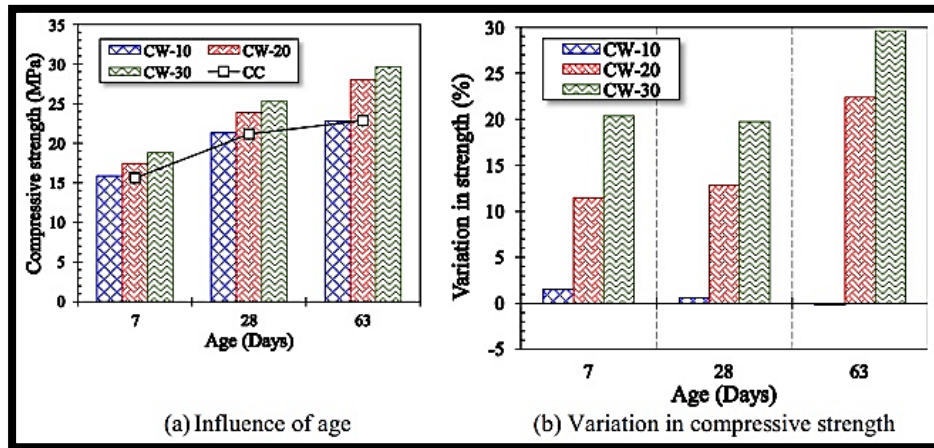


Figure II.15. Résistance à la compression des bétons selon Rashid et al.

Afin de comprendre cette amélioration Rashid et al. ont développé des modèles d'interface (Figures II-16a et II-16b), dans lesquelles la liaison entre la pâte de ciment avec les différents granulats est illustrée.

D'un côté le granulat céramique est très rugueux et poreux, de l'autre côté le granulat est vitreux et moins poreux. La liaison forte peut être établie d'un côté en raison de l'ancrage physique et chimique ainsi que de la présence des forces de Van der Waals. Par conséquent, cela contribue à l'amélioration de la résistance à la compression. La résistance de l'ITZ est moins dense par rapport à l'ITZ d'un granulat céramique.

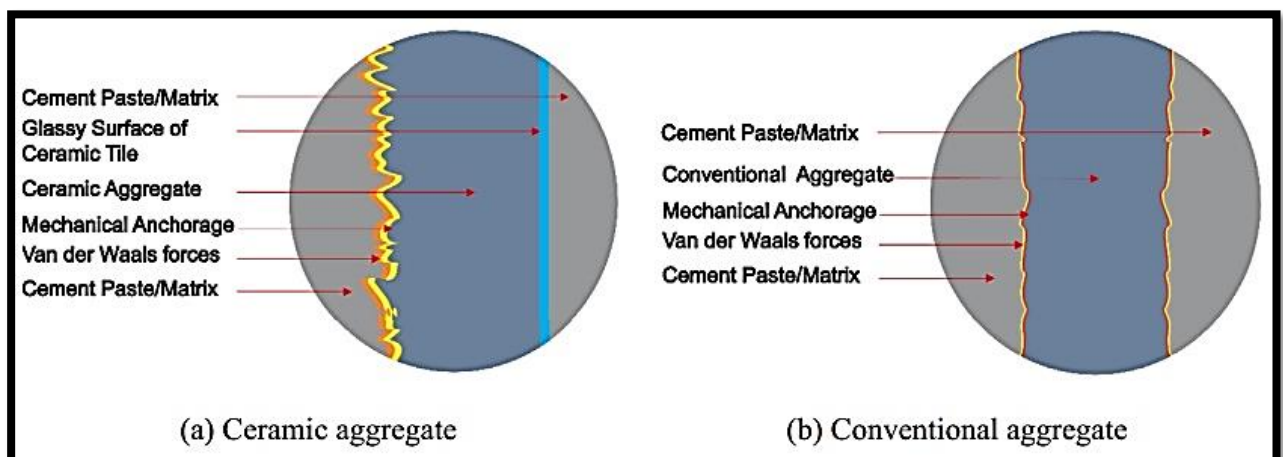


Figure II.16. ITZ entre granulat et matrice cimentaire selon Rashid et al.



CHAPITRE III:

Essais et résultats

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, les différentes qualités et caractéristiques des matériaux locaux utilisés, pour la confection des bétons. Les essais ont été exécutés au laboratoire de génie civil à l'université de M'sila. Le choix de ces matériaux s'est porté sur leur disponibilité dans la région de M'sila (Figure III.01).

- Ciment de type CEM I 42.5 N fournie par le groupe Holcim établie à M'sila.
- Un sable de dune de la région de Bou Saada.
- Des graviers concassés (3/8 , 8/16 , 16/25).
- Un gravier concassé d'origine de déchet de céramique sanitaire (8/16)
- L'eau potable du laboratoire de génie civil.



Figure III.01. Les différents matériaux utilisés.

III.2. Caractérisation des granulats

III.1. Le sable

Le sable utilisé dans notre cas d'étude est un sable de dune transporté par camion Oued Maiter de la région de Bou saada.

III.1.1. Caractéristique du sable

III.1.1.1. Masse volumique absolue

C'est la masse d'un corps par unité de volume absolu de matière pleine, notée et exprimée en (gr/cm^3 , kg/m^3 , etc).

On détermine la masse volumique absolue du sable à l'aide du récipient de capacité 1000 ml.

On place l'échantillon de 300g de sable (Figure III.2), dans le récipient de capacité 1000 ml et on y verse un volume d'eau $V_e = 150$ ml, puis on malaxe soigneusement le contenu pour chasser l'air qui y existe. On détermine le volume final occupé par le mélange V_m .

Le volume de sable est : $V_s = V_m - V_e$

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



Figure III.2. Essai de la masse volumique absolue du sable

Les résultats après trois tentatives, sont exprimés au tableau III.1

Tableau III.1. Masse volumique absolue

N° d'essai	M (g)	V_e [ml]	V_m [ml]	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	

III.1.1.2. Masse volumique apparente (NF P 18-555)

C'est la masse du matériau par unité de volume compris les vides existants entre les grains. On détermine la masse volumique apparente à l'état lâche du sable à l'aide d'un entonnoir standardisé de capacité 2 à 2.5 litres de masse M_1 .

On place le récipient ($V_r = 900$ cm³) rempli de sable sous l'entonnoir à une distance de 10 à 15 cm et on le remplit avec du sable. Une fois le récipient rempli, et la surface nivelée Soit M_2 ce poids.

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

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

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	

La masse volumique à l'état compact (Tableaux III.3 et III.4), est la masse du matériau par unité de volume après remplissage du récipient et compactage par tassement à 30 secousses manuelles.

Tableau III.3. Masse volumique apparente du sable de Boussaâda à l'état compact

N°d'essai	M ₁ [g]	M ₂ [g]	ρ [g/cm ³]	ρ _{moy} [g/cm ³]
01	115	2100.93	2.2065	2.2066
02	115	2101.1	2.2067	
03	115	2101	2.2066	

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

N°d'essai	M ₁ [g]	M ₂ [g]	ρ [g/cm ³]	ρ _{moy} [g/cm ³]
01	115	1974.94	2.0666	2.0666
02	115	1974.96	2.0666	
03	115	1974.95	2.0666	

III.1.1.3. Porosité, compacité et indice des vides (NF P 18-555)

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

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

La compacité d'un matériau est une proportion de son volume réellement occupé par la matière solide qui le constitue La compacité est donnée par la formule :

$$c = \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} = 100 - p$$

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

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

Les résultats de la porosité, la compacité et l'indice de vide sont regroupés dans le tableau III.5.

Tableau III.5. 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

III.1.1.4. Teneur en eau (NF P 18-555)

Le sable a la capacité de retenir une quantité d'eau entre ces vides. Pour apprécier cette caractéristique, on pèse $M_h=500\text{g}$ d'un sable humide, et on le laisse dans une étuve à une température dans l'intervalle de 105°C à 110°C pendant 24 heures. Soit (M_s) son poids à la fin. La teneur en eau du sable est :

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

Tableau III.6. Teneur en en du sable de dune.

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

III.1.1.5. Degré d'absorption d'eau NF P 18-555

Elle est le pouvoir d'un matériau d'absorber et de retenir l'eau (Tableau III.7), elle est définie en pourcentage d'après la formule suivant :

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

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

M_2 : la masse du matériau imbibée d'eau en (g).

Tableau III.7. Absorption d'eau du sable naturel.

N° d'essai	M_1 [g]	M_2 [g]	W (%)	Moyenne
1	570	500	14.00	14.70
2	577		15.40	

III.1.1.6. Analyse granulométrique (NF P 18-560)

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



Figure III.3. Analyse granulométrique du sable.

Une fois une masse de (1000g) est pesée, elle est introduite sur la colonne de tamis de maille (5 - 2,5 - 1,25 - 0,63 - 0,315 - 0.16 - 0.08 – fond) préalablement pesé (mi). Après agitation, on pese chaque tamis séparément Soit M_i la masse su tamis + granulats. La différence entre M_i et m_i correspond au refus des différents tamis. Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau III.8.

Tableau III.8. Analyse granulométrique du sable

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

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).

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

R_c : Refus cumulé.

$$Mf = (95.3 + 68.8 + 31.6 + 17.8 + 10.7) / 100$$

$Mf = 2.24$. C'est un sable Moyen.

III .1.1.7. Equivalent de sable (NF P 18-598)

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

A l'aide de l'entonnoir on verse 150 g de sable dans une éprouvette graduée. On verse une solution lavante jusqu'au premier repère (10cm). Après 10 minutes, on ferme l'éprouvette à l'aide du bouchon en caoutchouc et on lui imprime 90 cycles de 20 cm de cours horizontale en 30 secondes à l'aide d'un agitateur mécanique.

On verse la solution lavante au-dessus de l'éprouvette pour nettoyer les bords intérieurs jusqu'au 2^{ème} repère et on la laisse reposer pendant 20 minutes.

On Mesure avec la règle la hauteur h_2 comprise entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire et le fond de l'éprouvette.

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

Ou' : $h_2 < h_1$ avec : h_1 : sable propre + éléments fins.

Après cette mesure, on introduit un piston dans l'éprouvette et on le laisse descendre doucement jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment. A cet instant il faut bloquer le manchon du piston et sortir celui-ci de l'éprouvette. Soit h'_2 la hauteur lue et correspondant à la hauteur de la partie sédimentée.

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



Figure III.04. Agitateur pour équivalent de sable.

Les résultats de ces différentes opérations sont reportés sur le tableau III.9

Tableau III.9. Résultat de l'essai d l'équivalent de sable.

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	

E.S.V (%) = 85.54 %, donc E.S \geq 85. E.S.P(%) = 81.60, donc E.S \geq 80 selon la norme ce sable très propre

III.2. Les graviers

Les fractions granulaires utilisées dans la confection du béton, sont obtenues par concassage de la roche. Les mêmes démarches des essais effectués pour le sable, le seront dans le cas du gravier.

III.2.1. Caractéristiques du gravier utilisé

III.2.1.1. Masse volumique absolue

Après la pesée de 300g de gravier, on remplit l'éprouvette de 300ml d'eau. Les résultats pour les différents fractions sont reportés aux tableaux III.10, III.11, III.12 ainsi que le tableau III.13 pour la masse volumique du gravier d'origine céramique sanitaire.

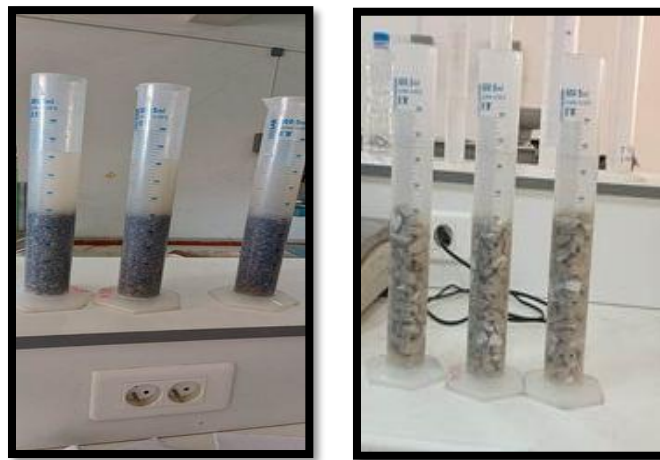


Figure III.5. La masse volumique absolue des graviers.

Tableau III.10. Masse volumique absolue de gravier 3/8.

N° d'essai	M ₁	V _e (ml)	V ₁ (ml)	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.11. Masse volumique absolue de gravier 8/16

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

Tableau III.12. Masse volumique absolue de gravier 16/25

N° d'essai	M ₁	V _e (ml)	V ₁ (ml)	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.13. La masse volumique absolue du gravier 8/16 céramique.

N° d'essai	M ₁	V _e (ml)	V ₁ (ml)	ρ (g/cm ³)	ρ_{moy} (g/cm ³)
1	300	300	435	2,22	2,223
2	300	300	434	2,23	
3	300	300	435	2,22	

III.2.1.2. Masse volumique apparente NF P 18-555

Le principe est le même que dans le sable décrit au paravent. Les résultats sont reportés sur les tableaux III.14, III.15, III.16 ainsi que le tableau III.17 dans le cas du gravier 8/16 d'origine céramique

Tableau III.14. Masse volumique apparente du gravier 3/8.

N° d'essai	M ₁ [kg]	M ₂ [kg]	ρ^{app} [g/cm ³]	ρ_{moy} [g/cm ³]
1	2.922	17.77	1,40	1,40
2		12.74	1,40	
3		12.75	1,40	

Tableau III.15. Masse volumique apparente gravier 8/16.

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

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

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

Tableau III.17. Masse volumique apparente du gravier céramique 8/16

N° d'essai	M ₁ [kg]	M ₂ [kg]	ρ^{app} [g/cm ³]	ρ_{moy} [g/cm ³]
1	115	1198	1,203	1,203
2		1199	1,204	
3		1198	1,203	

III.2.1.3. Porosité, compacité et indice des vides NF P 18-555

De la même forme quand a calculé ces caractéristiques pour le sable. La porosité, la compacité et l'indice des vides sont données aux tableaux III. 18 et III.19 pour le gravier céramique.

Tableau III.18. Porosité, compacité et indice des vides.

Fraction du Gravier	Porosité P (%)	Compacité C (%)	L'indice des vides E
3/8	42.62	57,38	0.74
8/16	42.99	57.01	0,87
16/25	45.21	54.79	0.82

Tableau III.19. Porosité, compacité et indice des vides pour gravier 8/16 céramique.

Fraction du Gravier	Porosité P (%)	Compacité C (%)	L'indice des vides E
8/16	45.88	54.12	0.85

III.2.1.4. Degré d'absorption d'eau

Idem que pour le sable, les résultats sont exprimés aux tableaux III.20 et III.21.

Tableau III.20. Absorption d'eau des graviers naturels

Fraction	Essais	M humide (g)	M sèche (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	1013.5	1000	1.35	1.21%
	2	1008		1.08	
	3	1012.1		1.21	

Tableau III.21. Absorption d'eau du gravier 8/16 céramique

Fraction	Essais	M humide (g)	M sèche (g)	A%	Amoy (%)
8/16	1	502	500	0.4	0.6%
	2	504		0.8	
	3	503		0.6	

III.2.1.5. Analyse granulométrique (NF P 18-560)

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

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

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

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

Tamis	Refus partielle	Refus cumulé (g)	Refus cumulé %	Tamisat %
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.24. Analyse granulométrique du gravier 16/25

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

Tableau III.25. Analyse granulométrique du gravier 8/16 céramique.

Tamis	Refus partielle	Refus cumulé (g)	Refus cumulé %	Tamisât %
16	99	99	3.16	96.84
12.5	1637	1736	55.46	44.54
10	999	2735	87.38	12.62
8	357	3022	96.54	3.46
6.3	37	3129	99.96	0.04
Fond	1	3430	100	0

III.2.1.6. Essai de résistance au choc NF P 18-573

Cet essai renseigne sur la dureté des roches appelé coefficient Los Angeles « LA ». L'essai consiste à mésuser la masse « m » d'éléments inférieurs à 1.6 mm, produits par la fragmentation du matériau soumis aux chocs de boulets normalisés, dans le cylindre de la machine Los Angeles (Figure III.6). Les résultats de cet essai sont reportés au tableau III.26.



Figure III.6. Appareil Los Angeles.

Tableau III.26. Essai Los Angeles de gravier

Gravier	Masse initiale M (kg)	Masse finale (kg)	Coefficient LA (%)
Gravier naturel	5	3637	27.26
Gravier céramique	5	4011.3	19.77

III-3- 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, résultant de la mouture d'un clinker contenant un faible taux d'aluminates de calcium avec une proportion de gypse inférieure à celle d'un ciment portland composé.

III-4- Eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée pour la confection est l'eau potable du robinet. La masse volumique prise en compte pour les calculs de formulation est de 1000 kg/m^3

III-5-Formulation du béton

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

- Un Béton témoin nommé BT0: C'est un mélange ordinaire formulé à partir de trois classes granulaires : sable naturel , gravier (3/8) , gravier (8/16) et gravier (16/25).
- Les bétons modifiés BT10 , BT20 et BT30 : C'est des bétons ordinaires mais la fraction granulaire 8/16 du gravier naturel est substituée par 10, 20 et 30% d'un gravier d'origine céramique sanitaire.

Comme il est simplifié au tableau III.27.

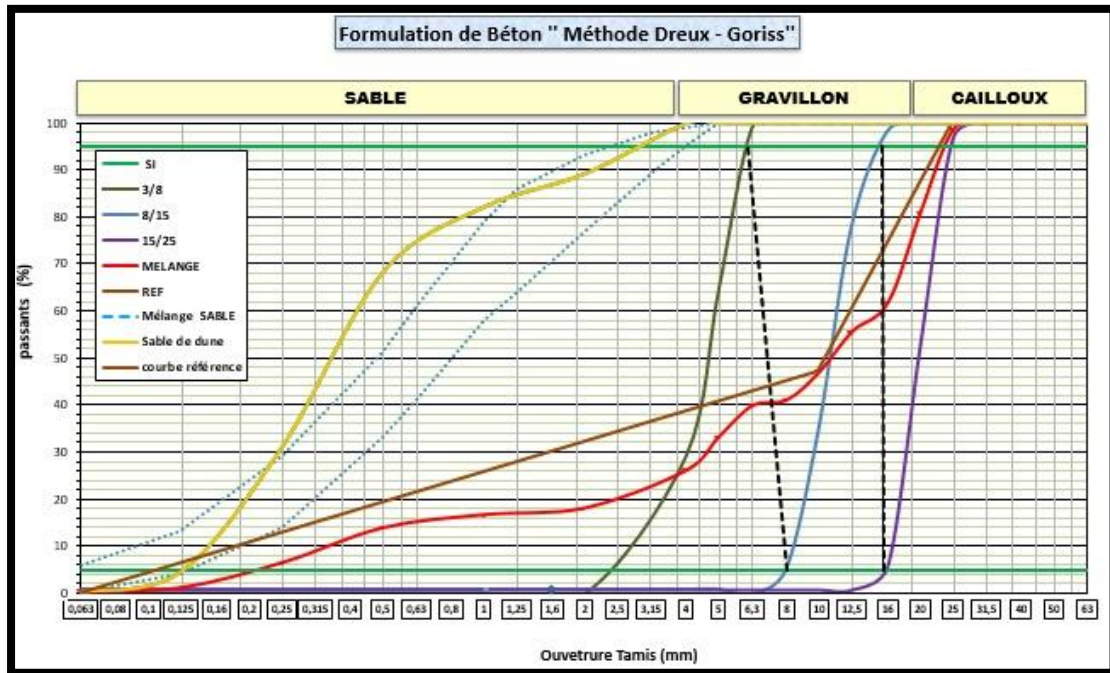


Figure III.7. Courbe de référence du béton de référence.

Tableau III.27. Nomination des bétons utilisés

Nomination	Gravier céramique	Gravier naturel
BT0	0%	100%
BT10	10%	90%
BT20	20%	80%
BT30	30%	70%

III.5.1. Malaxage des bétons

La préparation du mélange 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, 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 des matériaux pour l'obtention du béton.

III.5.2. Confection des éprouvettes

Pour les besoins de notre étude et selon la nature de l'essai à réaliser, on a confectionnés des moules cubiques (10×10×10) cm³ et des moules prismatiques (7×7×28) cm³.

Le nombre d'échantillons pour chaque essai est de trois (03) afin d'avoir une moyenne représentative.



Figure III.9. Confection des bétons.

III-5-3-La cure

Après la mise dans les moules déjà graissés par une huile pour faciliter le démoulage après 24 heures de leur coulage. Les éprouvettes en béton, sont ensuite misent dans la chambre humide jusqu'au jour de l'essai.

III.6. Essai sur béton frais

III.6.1. Affaissement au cône d'Abrams (NF P18-451)

L'essai au cône d'Abrams, appelé aussi « Slump test » est l'essai le plus fréquent pour apprécier la consistance du béton. Il s'agit de constater l'affaissement d'un cône de béton sous l'effet de son poids propre.

Pour mesurer l'affaissement on introduit le béton frais dès la fin de sa confection en trois couches recevant chacune 25 coups de piquage. Après l'arasage et le démoulage en soulevant le moule, on mesure la hauteur par laquelle le béton c'est enfoncer (Figure III.10).



Figure III.10. Affaissement au cône d'Abrams.

Sachant que le rapport E/C est constant pour tous les types de béton étudiés, on remarque d'après la figure III.10, une augmentation de cette caractéristique l'introduction et l'augmentation du pourcentage de substitution. L'affaissement le plus petit est enregistré pour le béton BT0 avec 7cm, et le plus grand est pour BT30 avec 8,5cm.

Cette augmentation de l'affaissement est due principalement à une surface importante avec glaçure proportionnelle. Cette surface ne réagit pas avec l'eau dans l'immédiat.

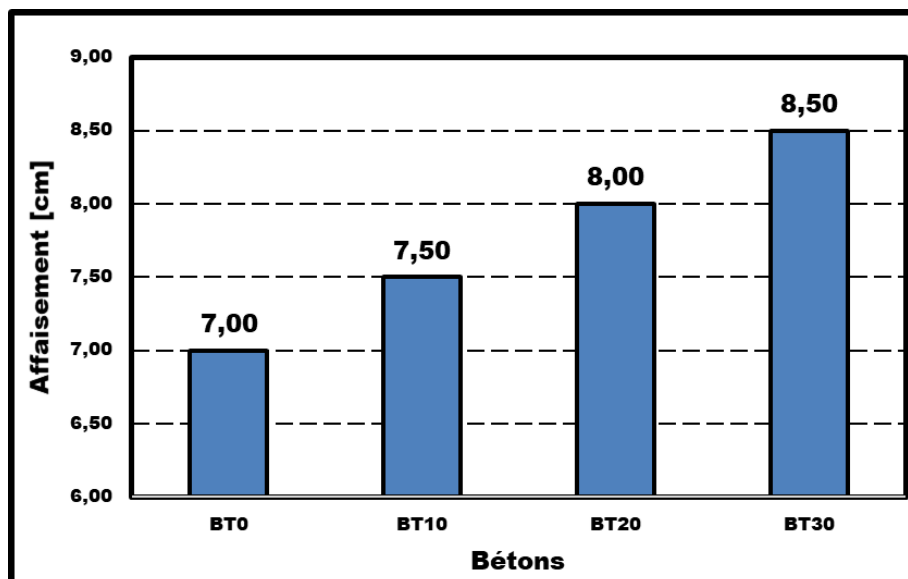


Figure III.11. Affaissement des différents bétons.

III.7.Essais sur béton durci

III.7.1.La masse volumique

Avant chaque date d'essai destructif des éprouvettes, leurs masses est mesurées. La masse volumique d'un corps, est la masse de l'unité sur le volume de ce corps, effectué sur des éprouvettes de forme cubiques de dimensions $(10 \times 10 \times 10) \text{ cm}^3$, la masse volumique est donnée par la formule suivante :

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

On constate d'après la figure III.12, L'augmentation de la masse des éprouvettes en bétons avec le temps. Néanmoins avec l'augmentation du taux de gravier céramique cette masse diminue par rapport aux éprouvettes de béton témoin.

Cette diminution est due à la différence de la masse volumique des graviers utilisés comme indiqués aux tableaux III.11 et III.13.

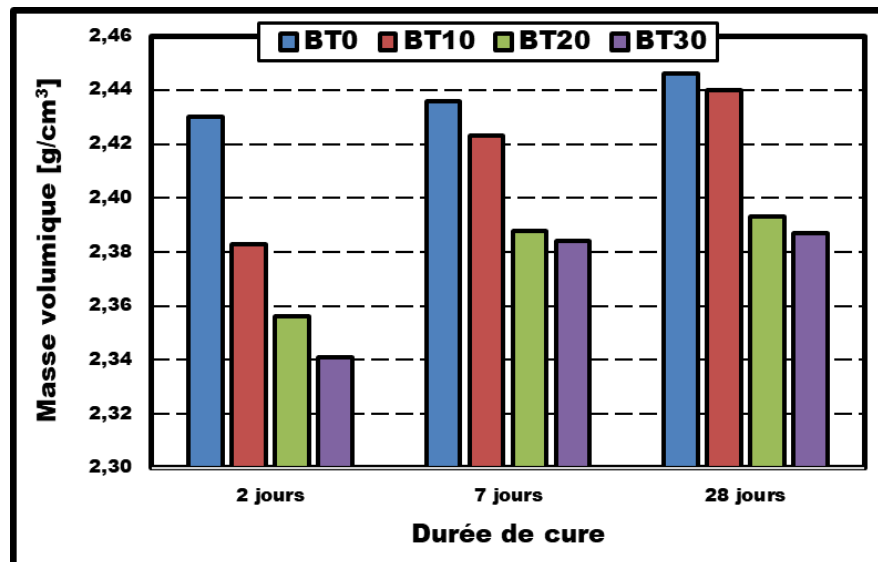


Figure III.12. La masse volumique des bétons élaborés.

III.7.2. Résistance à la compression

L'essai de résistance à la compression a été effectué par l'application d'un effort de chargement sur une éprouvette cubique de $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$, jusqu'à rupture. La presse d'essai de compression est de type CONTROLS ayant une capacité maximale de 3000KN (Figure III.13).

Les échantillons conservés dans la chambre humide ont été séchés à l'atmosphère de laboratoire avant cet essai destructif de l'échantillon.



Figure III.13. Machine d'essai de résistance à la compression.

On remarque que les résistances à la compression des quatre formulations augmentent avec le temps. D'un autre côté, elles diminuent à fur et à mesure que la substitution du gravier naturel par le gravier d'origine céramique augmente.

Ceci est dû peut-être au changement du coefficient de Los Angeles comme indiqué au tableau (Tableau III.26) plus faible pour les graviers céramiques recyclés. Ceci engendre une réduction de la résistance des bétons BT10, BT20, BT30.

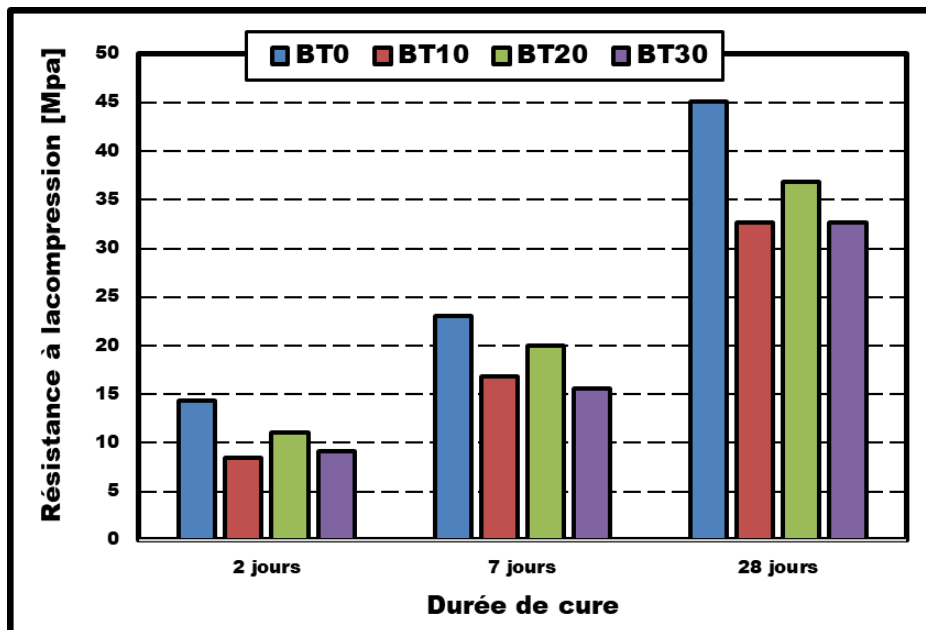


Figure.III.14. Résistance à la compression des différents bétons.

III.7.3. Propagation des ondes ultrasonique UPV

L'essai au scléromètre (figure III.15) consiste à projeter une masse sur la surface du béton avec une énergie initiale constante. Suite au choc, une partie de l'énergie est absorbée par le béton, l'autre partie provoque le rebondissement de la masse. La mesure de la dureté au choc permet d'évaluer la résistance d'un béton de manière non destructive.

Le principe de base de l'essai au scléromètre est que le rebond d'une masse élastique dépend de la dureté de la surface sur laquelle frappe la masse. Il s'agit de tester la dureté de surface d'un béton durci. Cette dureté étant d'autant plus élevée que le béton est plus résistant, cela permet d'avoir un ordre de grandeur de la résistance atteinte par un béton à un âge donné.



Figure III.15. Essai a l'ultrasonique UPV.

Dans la figure III.16, on remarque que la vitesse de propagation des ondes augmente avec le temps. Cette vitesse enregistre une diminution lorsque la substitution est introduite. Ce test confirme l'allure de la résistance.

Malgré la substitution tous les bétons ont une qualité satisfaisante, et on remarque que la vitesse est relativement serrée entre les bétons testés.

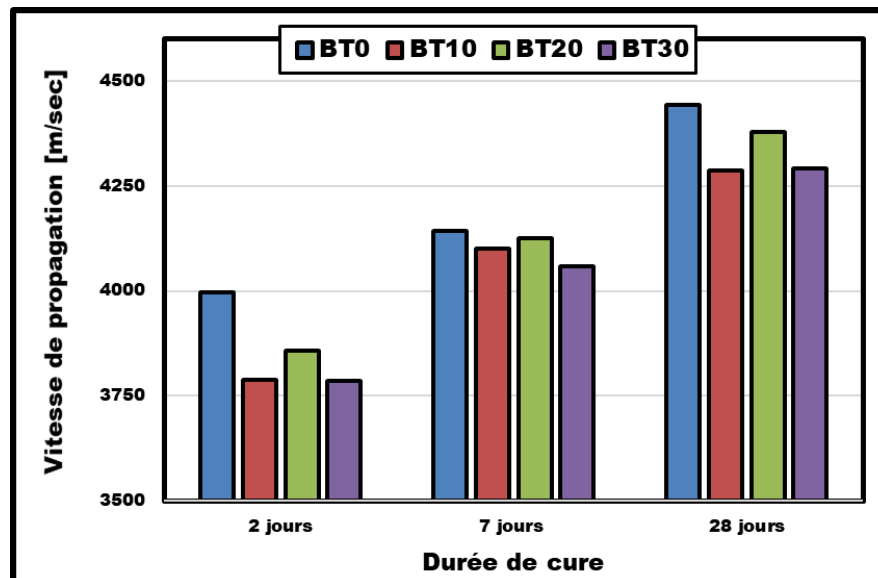


Figure III.16. Vitesse de propagation des ondes ultrasoniques.

III.7.4. Retrait

La mesure de retrait consiste à évaluer les variations des déformations (ΔL) par rapport à la longueur initiale de l'échantillon (L_0). La pièce maîtresse du dispositif de mesure est le comparateur (figure III.17) permettant de réaliser des mesures avec une exactitude inférieure ou égale à 0.005mm.



Figure III.17.Appareil de retrait.

D'après la figure III.18, on remarque que la courbe de retrait est divisée en deux parties, une pente raide dans les premiers jours, puis une stabilisation.

Avec l'augmentation du taux de substitution de 10 à 30% le retrait augmente de façon proportionnelle .

Le plus court retrait est enregistré pour le BT0 les plus long est celui du BT30.

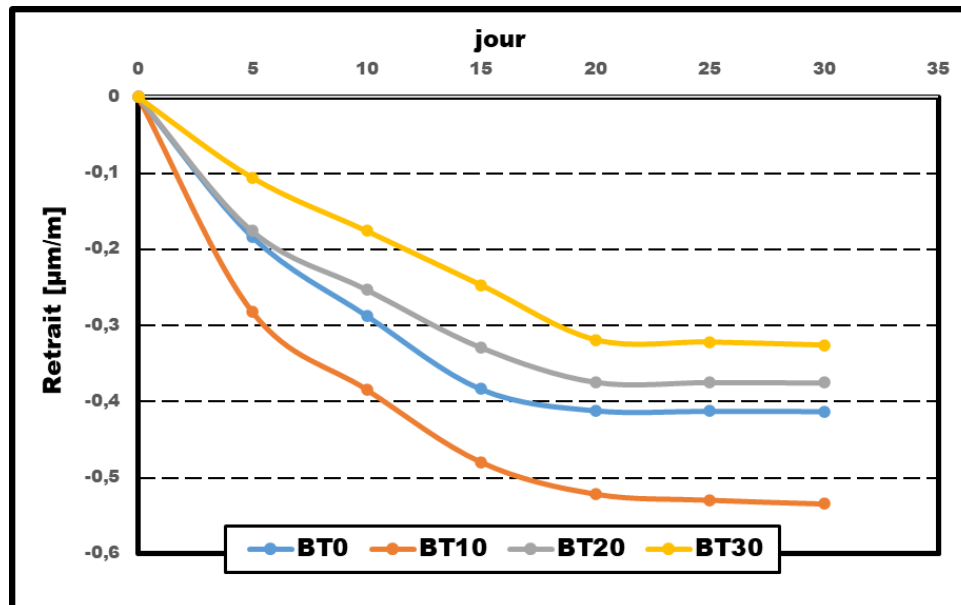


Figure III.18. Mesure de retrait du différent béton.

III.7.5. Absorption par immersion

L'absorption par immersion a été effectuée, en séchant les éprouvettes cubiques (10x10x10 cm³) du béton à l'étuve jusqu'à masse constante. Les éprouvettes sont ensuite immergées totalement dans l'eau pendant jusqu'à masse constante à 20°C à la pression atmosphérique (c'est-à-dire jusqu'à saturation du matériau).

L'essai a pour but de déterminer la masse d'eau absorbée par immersion, elle est donnée par la formule :

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

Avec :

A : coefficient d'absorption.

M₁ : poids sec du matériau.

M₂ : poids humide du matériau.

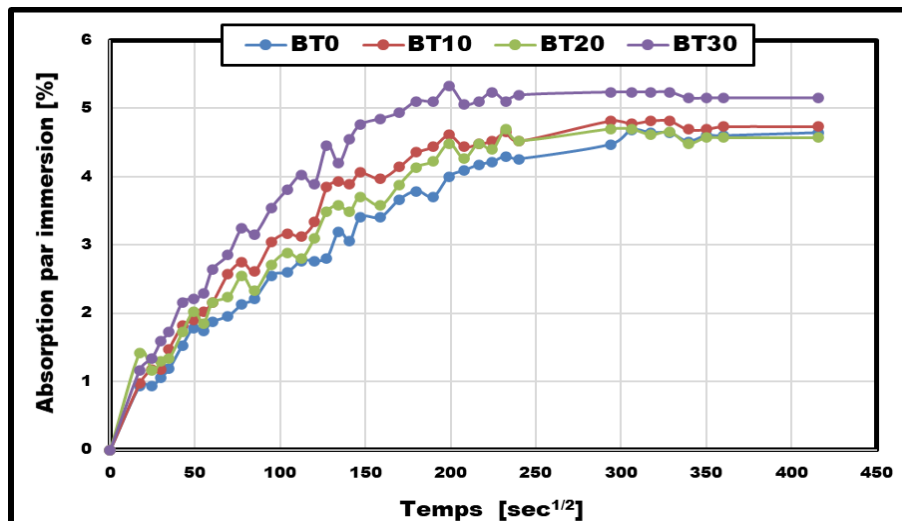


Figure III.19. Absorption totale des bétons étudiés.

Dans cet essai, on remarque que la masse absorbée par les bétons de céramique est plus petite que celle du béton ordinaire. De plus, cette absorption diminue avec l'augmentation du dosage en céramique (figure III.19).

Cette diminution est dû peut-être au degré d'absorption d'eau des granulats céramique en constante augmentation comme exprimée sur les tableaux III.20 et III.21.

III.7.6. Absorption capillaire

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

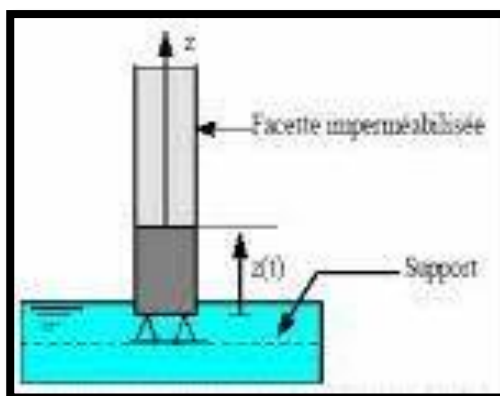


Figure III.20. Schéma simplifié de l'essai d'absorption par capillarité.

L'échantillon est ensuite placé sur deux appuis collés sur le fond d'un bac rempli d'eau jusqu'à une hauteur de 2 ± 1 mm à partir de la base de l'éprouvette (figure III.20)

La masse d'eau absorbée est mesurée par balance et est reportée par unité de surface (figure III.21) comme suit.

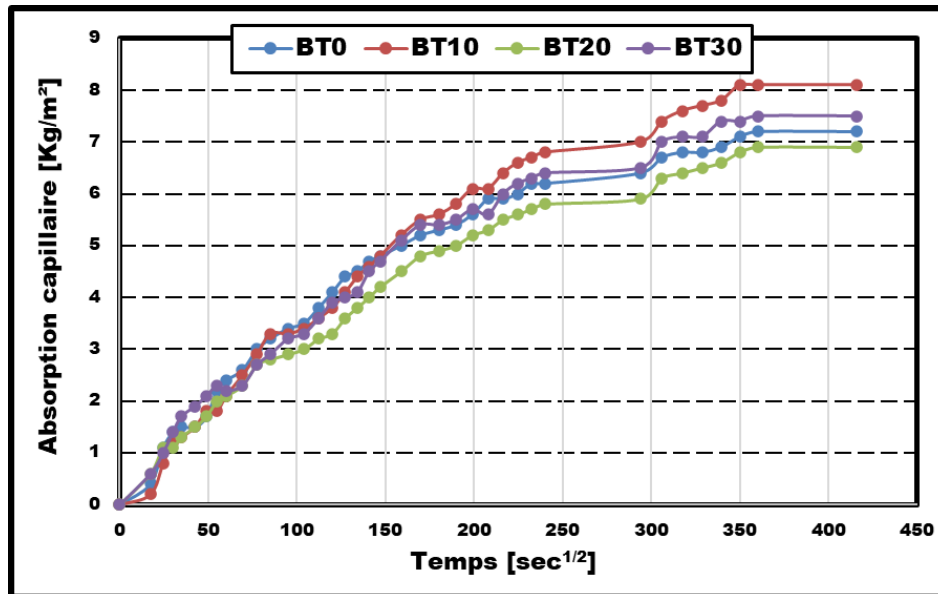


Figure III.21. Evolution de l'absorption capillaire en fonction de \sqrt{t} .

D'après ces résultats on remarque que l'introduction des graviers céramiques augmente l'absorption capillaire sauf dans le cas du béton BT20 qui enregistre une absorption moins importante que le BT0.

III.7.7. La porosité accessible à l'eau par pesée hydrostatique NF P 18-459

D'après les taux des vides collectés au tableau III.28, on remarque qu'avec l'incorporation et l'augmentation du granulats céramique ce resserre de plus en plus avec le temps, mais la différence se ressent avec l'augmentation du taux de substitution, car peut être que la glaçure des granulats céramiques n'offre pas une interface granulats/liant compact.

Tableau III.28. Taux des vides des bétons

Désignation	A 2 jours	A 28 jours	A 90 jours
BT0	14.09	8.12	3.10
BT10	16.54	9.35	5.51
BT20	16.73	9.41	5.80
BT30	17.81	10.05	6.11



**CONCLUSION
GÉNÉRALE**

Conclusion générale

La valorisation, est une étape importante dans la gestion des déchets. Donner une seconde vie aux produits rejetés est un enjeu important pour l'économie et l'environnement de chaque pays. Les déchets inertes sont des déchets qui ne sont ni chimiquement ni biologiquement réactifs et ne se décomposent donc pas, ils ne réagissent pas ou ne se décomposent pas facilement lorsqu'ils sont exposés aux éléments.

Parmi ces déchets inertes on peut citer les briques, les tuiles, la terre cuite, etc. Ces déchets sont volumineux, encombrants avec un flux instable. Les céramiques comme exemple à cause de leur fragilité génère un volume considérable de déchets. Les sanitaires en céramique génèrent des déchets en usines lors du transport ou la pose sur chantiers. De plus, ils sont pratiquement inusités dans leur filière d'origine.

D'un autre côté, le béton gros consommateur de granulats naturels ne cessent d'absorber d'énormes quantités. Pour réduire ce préjudice les intervenants dans le domaine du bâtiment et travaux publique conseil d'utilisé des granulats recyclés.

Notre travail s'inscrit dans la filière de valorisation des déchets sanitaires en céramique comme granulats dans le béton. Nous avons choisi la fraction granulaire (8/15) à différents taux de substitution aux granulats naturels concassés. Les résultats trouvés sont très encourageants, on a constaté :

- L'absorption capillaire augmente avec l'introduction des granulats recyclés. L'eau dédiée à l'ouvrabilité laisse derrière lui un plus grand système de pores capillaires
- La masse volumique des bétons à granulats céramique recyclé, est inférieure à celle du béton témoin. Suite à l'augmentation du remplacement et le caractère léger des céramiques sanitaires, la masse volumique diminue.
- La résistance à la compression, diminue à fur et à mesure de l'augmentation de la substitution à cause de la fragilité des granulats sanitaires en céramique.
- l'affaissement est due principalement à une surface importante avec glaçure proportionnelle. Cette surface ne réagit pas avec l'eau dans l'immédiat

En conclusion, la valorisation des déchets céramiques présente un potentiel considérable pour améliorer la durabilité de notre industrie de la construction tout en réduisant notre impact sur l'environnement. En investissant dans la recherche, l'innovation et les pratiques de gestion des déchets responsables, nous pouvons exploiter pleinement les avantages de cette valorisation et contribuer à la construction d'un avenir plus durable.



REFERENCES
BIBLIOGRAPHIE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIE

- [1]. Newman, J & ,Choo, B. S. (Eds.) .(2003) .Advanced Concrete Technology Constituent Materials . Elsevier.
- [2]. Duggal, S. K .(2017) .Building Materials .3rd Ed. New Age International Publishers.
- [3]. Mamlouk, M. S & ,Zaniewski, J. P .(2006) .Materials For Civil And Construction Engineers . 3rd Ed. Pearson Prentice Hall.
- [4]. Hu, J., & Stroeven, P. (2006). Shape Characterization Of Concrete Aggregate. Image Analysis & Stereology, 25(1), 43-53.
- [5]. Rocco, C. G., & Elices, M. (2009). Effect Of Aggregate Shape On The Mechanical Properties Of A Simple Concrete. Engineering Fracture Mechanics, 76(2), 286-298.
- [6]. Kwan, A. K. H., & Mora, C. F. (2001). Effects Of Various Shape Parameters On Packing Of Aggregate Particles. Magazine Of Concrete Research, 53(2), 91-100.
- [7]. Alexandre Bogas, J., Gomes, M. G., & Real, S. (2015). Capillary Absorption Of Structural Lightweight Aggregate Concrete. Materials And Structures, 48, 2869-2883.
- [8]. Yehia, S., Helal, K., Abusharkh, A., Zaher, A., & Istaitiyeh, H. (2015). Strength And Durability Evaluation Of Recycled Aggregate Concrete. International Journal Of Concrete Structures And Materials, 9(2), 219-239.
- [9]. Kou, S. C., Poon, C. S., & Etxeberria, M. (2014). Residue Strength, Water Absorption And Pore Size Distributions Of Recycled Aggregate Concrete After Exposure To Elevated Temperatures. Cement And Concrete Composites, 53, 73-82.
- [10]. Philippe Pichat, 1995, La Gestion Des Déchets : Un Exposé Pour Comprendre, Un Essai Pour Réfléchir, Collection Dominos /Edition Flammarion (Paris).
- [11]. Fabrice Wiitkar, 15/02/2000, Gestion Des Dechets, Université De Rennes, 7
- [12]. Zemmouri Nee Ghachi, N. A. D. I. A., & Nafai-Boutouchent, D. (2021). Agent De Collecte Des Dechets Menagers Et Assimilesde La Wilaya D'alger: Etatdes Lieux Et Corrections ergonomiques (Doctoral Dissertation).
- [13]. Bourmatte, N., & Houari, H. (2017). Granulats Recyclés De Substitution Pour Bétons Hydrauliques (Doctoral Dissertation, Université Frères Mentouri-Constantine 1). 24
- [14]. Siddique, S., Chaudhary, S., Shrivastava, S., & Gupta, T. (2019). Sustainable Utilisation Of Ceramic Waste In Concrete: Exposure To Adverse Conditions. Journal Of Cleaner Production, 210, 246-255.

- [15]. Medina, C., De Rojas, M. S., & Frías, M. (2012). Reuse Of Sanitary Ceramic Wastes As Coarse Aggregate In Eco-Efficient Concretes. *Cement And Concrete Composites*, 34 (1), 48-54.
- [16]. Medina, C., Frías, M., & De Rojas, M. S. (2012). Microstructure And Properties Of Recycled Concretes Using Ceramic Sanitary Ware Industry Waste As Coarse Aggregate. *Construction And Building Materials*, 31, 112-118.
- [17]. 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.
- [18]. Rashid, K., Razzaq, A., Ahmad, M., Rashid, T., & Tariq, S. (2017). Experimental And Analytical Selection Of Sustainable Recycled Concrete With Ceramic Waste Aggregate. *Construction And Building Materials*, 154, 829-840.
- [19]. Alves, A. V., Vieira, T. F., De Brito, J., & Correia, J. R. (2014). Mechanical Properties Of Structural Concrete With Fine Recycled Ceramic Aggregates. *Construction And Building Materials*, 64, 103-113.
- [20]. Dupain. R, Lanchon.R Et Saint-Arroman .J.C. «Granulats, Sols, Ciments Et Bétons» P236, Edition Casteilla 1995.