REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Civil

Spécialité : Matériaux en Génie Civil

Thème
Conception d'un bio-béton à base de sous-produits industriels combinés

---

Présenté par

GUEDOUAH Okba

KAHLIA El Abbes

Proposé et Dirigé par

Mme. BLAIFI Habiba

Mr. GUENDOUZ Mohamed

Mme. BENATALLAH Loubna

Promotion 2023/2024

REMERCIEMENTS



Tout d'abord, nous remercions infiniment le bon Dieu tout-puissant pour la bonne santé, la volonté et la patience qu'Il nous a accordées tout au long de nos études.

Avec une chaleureuse considération, nous tenons également à exprimer notre profonde gratitude à nos très chers parents pour leur soutien moral et financier inestimable tout au long de notre parcours.

Nous adressons nos sincères remerciements, accompagnés de nos plus profonds respects, à notre encadrante, ***Mme BLAIFI****, et à nos co-encadrants,* ***M. GUENDOUZ*** *et* ***Mme BENATALLAH****, pour leur suivi assidu, leur patience, leurs conseils avisés et leur aide précieuse tout au long de notre projet.*

Nos remerciements vont également à tous les enseignants du département de génie civil de l'université de Médéa, avec une mention spéciale pour Mme BOUKHELKHAL, pour leur soutien et leur engagement.

Nous exprimons notre gratitude à tous les membres du jury qui nous font l'honneur d'évaluer notre travail.

Un grand merci est adressé à tous les ingénieurs et travailleurs du hall technologique, en particulier à Mme MESSAOUDI, pour leur aide et leur disponibilité.

Enfin, nous remercions chaleureusement toutes les personnes qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.

GUEDOUAH Okba
KAHLIA El Abbes

Dédicaces



Aucune parole ne saurait exprimer pleinement la gratitude, l'amour, le respect et la reconnaissance que je ressens. Je dédie ce mémoire de master :

À la plus belle créature que Dieu a créée sur terre, à cette source de tendresse, de patience et de générosité, à la chandelle qui éclaire ma vie,

À ma mère, Nadia.

À mon père, Khaled.

À ma sœur, Ikram.

À mes frères, Ali et Racim.

Et à toute ma famille.

À mon binôme, KAHLIA Abbes

Et nous n'oublions certainement pas nos amis, surtout Youcef, Mohammed et Sadjia, ainsi que tous ceux qui nous ont aidés dans notre tâche. Nous leur disons un grand merci.

GUEDOUAH Okba

Dédicaces



Je dédie ce modeste travail à :

Mes chers parents, dont aucune dédicace ne pourrait exprimer mes sincères sentiments. Leur patience illimitée, leur encouragement continu et leur aide précieuse témoignent de mon profond amour et respect pour leur grand sacrifice.

À ma chère femme, R.B, pour son soutien indéfectible.

À mes frères et leurs enfants, pour leur encouragement et leur affection.

À mon binôme, GEDOUAH OKBA, pour sa collaboration et son soutien tout au long de ce projet.

À tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail, je vous dis merci.

KAHLIA El abbes.

ملخص

الهدف الرئيسي من هذا المشروع هو تعزيز إعادة التدوير واستغالل النفايات الصناعية)الجرانيت، الزجاج، السيراميك(والنفايات الطبيعية)ألصداف(في تصنيع الخرسانة الرملية السائلة. تمت دراسة أنواع مختلفة من النفايات بنسب ثابتة 15%، باإلضافة إلى خليط يضم مزيج من هذه النفايات)15% الجرانيت، 15% الزجاج، 15% السيراميك و 15% نفايات ألصداف(. تظهر النتائج أن دمج هذه النفايات يحسن بشكل كبير الخصائص الفزيائية و الميكانيكية للخرسانة. يُظهر الخليط الذي يضم مزيج النفايات أفضل أداء شامل، مع تحسينات ملحوظة في مقاومة الضغط واالنثناء، والكثافة وتقليل المسامية وامتصاص الماء. في الختام، يساهم استخدام هذه المواد المعاد تدويرها في بناء أكثر استدامة وصديقًا للبيئة مع تقليل االثر البيئي

كلمات مفتاحية : الرسكلة, الخرسانية الرملية المائعة, النفايات الصناعية, الأصداف البحرية, الخواص الفيزيوميكانيكية

Résumé

L'objectif principal de ce projet est de valoriser et recycler les déchets industriels (granite, verre, céramique) et les déchets bio-sourcé (coquillage) dans la fabrication du béton de sable fluide (BSF). Différents types de déchets ont été étudiés à des pourcentages constants 15%, ainsi que des combinaisons de ces déchets (15% granite, 15 % verre, 15% céramique et 15% déchets de coquillage). Les résultats montrent que l'intégration de ces déchets améliore significativement les propriétés physiques et mécaniques du béton. Le mélange BSF5, combinant divers déchets, offre les meilleures performances globales, avec des améliorations notables de la résistance à la Compression, à la Flexion, de la densité et de la réduction de la porosité et de l'absorption d'eau. En conclusion, l'utilisation de ces matériaux recyclés dans le BSF contribue à une construction plus durable et écologique, tout en réduisant l'impact environnemental.

Mots clés : Recyclage, Béton de sable fluide, Déchets industriels, Coquillage, Caractéristiques physico-mécaniques

Abstract

The main objective of this project is to valorize and recycle industrial waste (granite, glass, ceramic) and bio-sourced waste (shell) in the production of fluid sand concrete (FSC). Different types of waste were studied at constant percentages 15 %, as well as combinations of these wastes (15% granite, 15% glass, 15% ceramic and 15% shell waste). The results show that the integration of these wastes significantly improves the physical and mechanical properties of the concrete. The FSC5 mix, combining various wastes, offers the best overall performance, with notable improvements in Compressive and Flexural strength, density, and reductions in porosity and water absorption. In conclusion, the use of these recycled materials in FSC contributes to more sustainable and eco-friendly construction, while reducing environmental impact.

Key words: Recycling, Fluid sand concrete, Industrial waste, Seashell waste, Physic-mechanical properties

SOMMAIRE

Remerciements
Dédicace
Résumés
Sommaire
Liste des Tableaux
Liste des Figures
Notation et Abréviation
Introduction générale

CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. Introduction 2
I.2. Béton de sable fluide 4
I.2.1. Définition et composition 4
I.2.2. Domaines d'application du béton de sable fluide dans le Génie civil 4
I.3. Fondamentaux du béton avec des granulats recyclées 5
I.4. Revue des matériaux alternatifs dans le béton 6
I.4.1. Sables de coquillage 6
I.4.1. Sables de granite 17
I.4.2. Sables de verre 23
I.4.3. Sables de céramique 30
I.4.4. Poudre de marbre 35
I.5. Conclusion 38

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES

II.1. Introduction 39
II.2. Caractérisation des Matériaux Utilisés 40
II.2.1. Ciment 40
II.2.2. Granulats 41
II.2.3. Eau de gâchage 46
II.2.4. Superplastifiant 47
II.2.5. Poudre de marbre 47
II.3. Formulation du béton de sable fluide 48
II.3.1. Séquence de malaxage du béton 49
II.3.2. Préparation et conservation des éprouvettes 50
II.4.1. Etat frais 51

II.4.1.1. L'étalement au mini-cône 51

II.4.2. Etat durci 51

II.4.2.1 Essais de Compression 51

II.4.2.2 Essais de Flexion. 52

II.4.2.3 Conductivité thermique 53

II.4.2.4 Essai ultrasonique 53

II.4.2.5 La densité apparente à l'état durci 54

II.4.2.6 La porosité accessible à l'eau 54

II.4.2.7 Absorption d'eau par immersion. 55

II.5. Conclusion 58

CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

III.1. Introduction 59

III.1.1. Impact des déchets solides sur les propriétés du béton à l'état frais 59

III.1.1.1. Etat frais 59

a) Étalement 59

III.1.1.2. Etat durci 62

a) La Résistance à la Compression 62

b) La Résistance à la Flexion. 63

c) La densité apparente à l'état durci 64

d) La conductivité thermique 65

e) La Vitesse ultrasonique 66

f) La porosité accessible à l'eau 68

g) Absorption par immersion 69

III.2. Conclusion. 71

Conclusion générale

Recommandations

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau I.1 : analyse chimique FRX 10

Tableau I.2 : propriétés des agrégats de coquilles de moules 13

Tableau I. 3 : les propriétés physiques de granit 18

Tableau I.4 : la composition chimique de granit 19

Tableau I.5 : Composition chimique des différents types de verre selon leurs applications [31] 24

Tableau I.6 : les différentes propriétés physiques du verre comme agrégat fin 27

Tableau I.7 : les différentes propriétés physiques du céramique 30

Tableau I.8 : la composition chimique des déchets céramiques 31

Tableau I.*9* : Composition chimique de la poudre de marbre. 35

Tableau II. 1 : L'analyse chimique du ciment et composition du clinker 40

Tableau II. 2 : Propriétés physiques d'identification de sable utilisés. 41

Tableau II.3 : Propriétés physiques de sable de granit. 43

Tableau II.4 : Propriétés physiques de sable de céramique. 44

Tableau II.5 : Propriétés physiques de sable coquillage 45

Tableau II.6 : Propriétés physiques de sable verre. 46

Tableau II.7 : Propriétés physiques de super-plastifiant 47

Tableau II.8 : les composantes des bétons formulés à base des déchets de coquillage, granit, verre et céramique. 48

Liste des figures

Liste des figures

Figure I.1: la consommation des matériaux de constructions , cité dans 4
Figure I. 2: la pollution causée par différents types de déchets industriels. 4
Figure I.3: Le Béton de Sable en projection..... 6
Figure I.4: Parement de bétons un base des granulats recyclés..... 7
Figure I.5: accumulations des déchets de coquillages. 8
Figure I.6: La collecte des déchets de coquillages. 8
Figure I.7: Pourcentage de la production aquacole mondiale de mollusques 9
Figure I.8: les différents types de coquillage..... 10
Figure I.9: Diffraction des rayons X de la coquille de moule 12
Figure I.10: Description and SEM details of mussel shell structure. 13
Figure I.11: Analyse thermogravimétrique du sable fin de coquille de moule (SFM)..... 15
Figure I.12: La Porosité accessible à l'eau..... 16
Figure I.13: La Résistance à la Compression. 17
Figure I.**14**: la pollution environnementale causée par les déchets de granite industriels. 18
Figure I.15: diffraction des rayons X (DRX) de DG..... 20
Figure I.16: microscopie électronique à balayage (MEB) de DG..... 21
Figure I.17: la résistance à la Compression de DG 22
Figure I.18: la résistance à la Flexion de DG..... 22
Figure I.19: stockage des pare-brise en verre feuilleté cassés pour recyclage 24
Figure I.**20**: stockage des pare-brise en verre feuilleté cassés pour recyclage 27
Figure I.**21**: la résistance à la Compressions 29
Figure I.**22**: la vitesse ultrasonique..... 30
Figure I.**23**: Micrographies SEM d'échantillons de béton à 120 jours. [44]..... 30
Figure I.**24**: Déchets de céramique. 31
Figure I.**25**: DRX des déchets céramique..... 33
Figure I.**26**: SEM des déchets de céramique. 33
Figure I.**27**: Effet des déchets de céramique sur la résistance à la Compression..... 35
Figure I.**28**: Effet des déchets de céramique sur la résistance à la Flexion. 35
Figure I.**29**:la poudre de marbre 36
Figure I.**30**:la résistance à la Compression du béton avec différents % de poussières de marbre. 37
Figure I.**31**:la résistance à la Flexion du béton avec différents % de poussières de marbre.... 38

Figure II. 1: Le ciment utilisé.....41

Figure II.2: Courbe granulométrique des sables utilisés. 42

Figure II.3: Sable moyenne d'Oued sauf. 42

Figure II.4: préparation du sable de granit. 43

Figure II.5: préparation du sable de céramique. 44

Figure II.6: préparation du sable de coquillage 45

Figure II.7: préparation du sable de verre 46

Figure II.8: Superplastifiant tempo 10. 47

Figure II.9: poudre de marbre 47

Figure II.10: Séquence de malaxage du béton de sable fluide 49

Figure II.11: protocole de malaxage..... 49

Figure II.12: Préparation et conservation des éprouvettes. 50

Figure II.13: Mesure de l'étalement du béton de sable fluide. 51

Figure II.15: Dispositif de mesure de la résistance à la Compression..... 52

Figure II.16: Dispositif de mesure de la résistance à la traction. 52

Figure II.17: Dispositif pour l'essai de la conductivité thermique. 53

Figure II.18: Etalonnage et mesure du temps de parcours des ondes ultrasonores. 54

Figure II.19: densité apparente à l'état durci 54

Figure II.20: Essai de Porosité accessible à l'eau. 55

FigureII. 21: Essai absorption d'eau par immersion. 56

Figure II.22: protocole expérimental.....57

Figure III.1: Influence des déchets sur la fluidité de BSF avec un dosage en SP de 0.8%. 59

Figure III.2: Dosage de super-plastifiant en de différent type du béton. 61

Figure III.3: La résistance à la Compression de BSF à base des déchets solides. 62

Figure III.4: La Résistance à la Flexion de BSF à base des déchets solides. 63

Figure III.5: la Densité de BSF à base de déchets solides. 64

Figure III.6: Conductivité thermique des Bétons de sable à base des déchets solides. 65

Figure III.7: Essai de vitesse ultrasonique. 66

Figure III.8: Relation entre la Résistance à la Compression (RC) et la vitesse ultrasonique des Mélanges de Béton. 67

Figure III.9: Essai de la porosité accessible à l'eau. 68

Figure III.10: Absorption d'eau des BSF à base de déchets solides. 69

Notations et Abréviations

Notations et Abréviations

BSF: Béton de Sable Fluide
SQ: Sable de Coquillage
SG: Sable de Granite
SV: Sable de Verre
SC: Sable de Céramique
FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations
SEM: Microscopie Électronique à Balayage
SiO2: Dioxyde de Silicium
CaO: Oxyde de Calcium
Al2O3: Oxyde d'Aluminium
Fe2O3: Oxyde de Fer
MgO: Oxyde de Magnésium
TiO2: Dioxyde de Titane
K2O: Oxyde de Potassium
Na2O: Oxyde de Sodium
P.F.: Perte au Feu

CPJ-CEM II/A (Mâtine): Ciment Portland artificiel produit par LAFARGE
E/C+F: Rapport Eau/Ciment + Filler
SP: Superplastifiant

AFPC-AFREM: Association Française pour la Construction et les Réparations des Équipements et des Matériaux
NF EN 12350-8: Norme pour l'essai d'étalement mini cône
NF EN 12350-6: Norme pour la mesure de la densité du béton
NF EN 196-1: Norme pour la résistance à la compression
NF P 18-412: Norme pour la presse hydraulique de capacité maximale de 2000 kN
EN 196-1: Norme pour les essais de flexion par trois points
NF P18-459: Norme pour la porosité accessible à l'eau
NF P18-554: Norme pour l'absorption d'eau par immersion

BSFT: Béton de Sable Fluide Témoin
BSF1: Béton de Sable Fluide avec des déchets de Coquillage
BSF2: Béton de Sable Fluide avec des déchets de Granite
BSF3: Béton de Sable Fluide avec des déchets de Verre
BSF4: Béton de Sable Fluide avec des déchets de Céramique
BSF5: Béton de Sable Fluide combinant différents types de déchets
VUS: Vitesse Ultrasonique
RC: Résistance à la Compression
Meau: Masse de l'éprouvette saturée d'eau pesée dans l'eau
Mair: Masse de l'éprouvette saturée d'eau pesée dans l'air
Msec: Masse de l'éprouvette sèche pesée dans l'air

Introduction générale

Introduction générale

Actuellement, la gestion des déchets représente un défi majeur d'un point de vue environnemental, économique et social, en raison notamment de leur longue durée de vie et de leur accumulation croissante. L'intégration de déchets industriels et de bio-déchets dans la production de bétons ou de mortiers de ciment en tant qu'ajouts minéraux ou granulats fins émerge comme une solution innovante à cette problématique. Parmi ces déchets, on trouve les résidus de coquillages, de granite, de verre et de céramique, qui, une fois recyclés, peuvent améliorer certaines propriétés des matériaux cimentaires à l'état frais et durci.

Face à la nécessité de valoriser les ressources locales sous-utilisées et de réutiliser les déchets industriels, ce travail de recherche s'inscrit dans une démarche de développement durable en créant de nouveaux bétons. Ces bétons, fabriqués à partir de matériaux abondants et recyclés, visent à présenter des caractéristiques comparables ou supérieures à celles des bétons traditionnels, tout en répondant à des exigences spécifiques de performance et de durabilité. En particulier, ce travail explore la formulation de bétons de sable fluide enrichis en déchets réutilisés, où les déchets collectés sont incorporés par substitution volumétrique du sable et ajoutés en tant que matériaux fonctionnels dans le béton.

Structure de l'étude

- Le premier chapitre de ce mémoire est consacré à une revue bibliographique sur la valorisation des déchets et les activités de recyclage dans le secteur de la construction, avec un accent particulier sur les déchets de coquillages, de granite, de verre et de céramique. Cette section vise à fournir une vue d'ensemble du béton de sable fluide (BSF) et des pratiques de valorisation des déchets dans la construction.
- Le deuxième chapitre décrit en détail les matériaux utilisés et les méthodologies expérimentales adoptées tout au long de cette recherche. Il présente également les essais réalisés, offrant ainsi une base solide pour l'analyse des résultats.
- Le dernier chapitre est dédié à la présentation et à l'interprétation des résultats obtenus. Les différentes données recueillies sont analysées de manière approfondie afin de démontrer l'efficacité de l'utilisation des déchets dans les bétons de sable fluide, notamment en termes d'étalement, de densité, de résistance à la compression (RC), de porosité, d'absorption d’eau, et d'autres propriétés mécaniques et physiques.

En intégrant des déchets industriels et des bio-déchets dans la fabrication de bétons, cette recherche non seulement répond à des enjeux environnementaux pressants, mais ouvre également la voie à de nouvelles avenues de développement pour des matériaux de construction plus durables et performants. Le potentiel d'amélioration des propriétés du béton grâce à l'utilisation de déchets recyclés pourrait représenter un progrès significatif pour l'industrie de la construction, tout en contribuant à la réduction des impacts environnementaux négatifs associés à la gestion des déchets.

Chapitre I

Recherche bibliograprhique

I.1. Introduction

Le secteur de la construction, historiquement gourmand en ressources naturelles, fait face à une crise environnementale imminente exacerbée par la surconsommation de matériaux non renouvelables tels que le sable et le gravier.

Cette situation alarmante impose au secteur de la construction de revoir urgemment ses pratiques traditionnelles. Il est impératif de développer des méthodes innovantes qui réduisent la dépendance aux extractions intensives et favorisent le recyclage et la réutilisation des matériaux. L'adoption de principes d'économie circulaire peut offrir des solutions viables pour minimiser l'impact environnemental tout en renforçant la durabilité du secteur. Parmi les stratégies prometteuses, l'utilisation accrue de matériaux recyclés, l'amélioration des processus de fabrication pour réduire les déchets, et le développement de technologies pour créer des substituts aux agrégats naturels sont envisagées[1].

La collaboration entre gouvernements, chercheurs et entreprises est également cruciale pour promouvoir des normes de construction plus respectueuses de l'environnement et pour soutenir la recherche et le développement de nouveaux matériaux écologiques. À mesure que le secteur évolue, la formation et l'éducation des professionnels de la construction sur les pratiques durables deviennent indispensables. En anticipant et en adaptant les stratégies dès aujourd'hui, le secteur de la construction peut non seulement prévenir les crises futures mais également jouer un rôle de leader dans la préservation des ressources naturelles pour les générations à venir.

En Algérie, la valorisation des déchets solides émerge comme une solution cruciale face aux défis environnementaux et économiques actuels. Avec l'augmentation constante de la production de déchets due à l'urbanisation rapide et à la croissance économique, l'Algérie a pris des mesures significatives pour développer les énergies renouvelables et promouvoir l'efficacité énergétique. Les déchets solides, identifiés comme une source importante de biomasse, offrent un potentiel remarquable pour la production d'énergie renouvelable.[2]

La gestion des déchets solides en Algérie et leur valorisation s'appuient sur une compréhension approfondie de la composition et des caractéristiques physico-chimiques des déchets. Actuellement, 97% des déchets produits sont éliminés, principalement par enfouissement, ce qui représente une pratique non durable à long terme. Seuls 2% des déchets sont recyclés et 1% compostés, illustrant un immense potentiel de valorisation non exploité. [2]

L'introduction de technologies de conversion des déchets en énergie, telles que la digestion anaérobie et la gasification, pourrait transformer ce paysage. Ces technologies permettent non seulement de réduire le volume des déchets mis en décharge mais aussi de produire de l'électricité, de la chaleur et des combustibles pour les transports, contribuant ainsi à la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

En intégrant ces pratiques de valorisation des déchets solides dans le secteur de la construction, en particulier dans la production de béton, l'Algérie pourrait non seulement répondre à ses défis environnementaux mais aussi ouvrir la voie à des innovations en matière de matériaux de construction durables. Ce passage à une gestion plus écologique des déchets

représente une étape essentielle vers une économie circulaire robuste, réduisant l'impact environnemental tout en soutenant la croissance économique durable.[2]

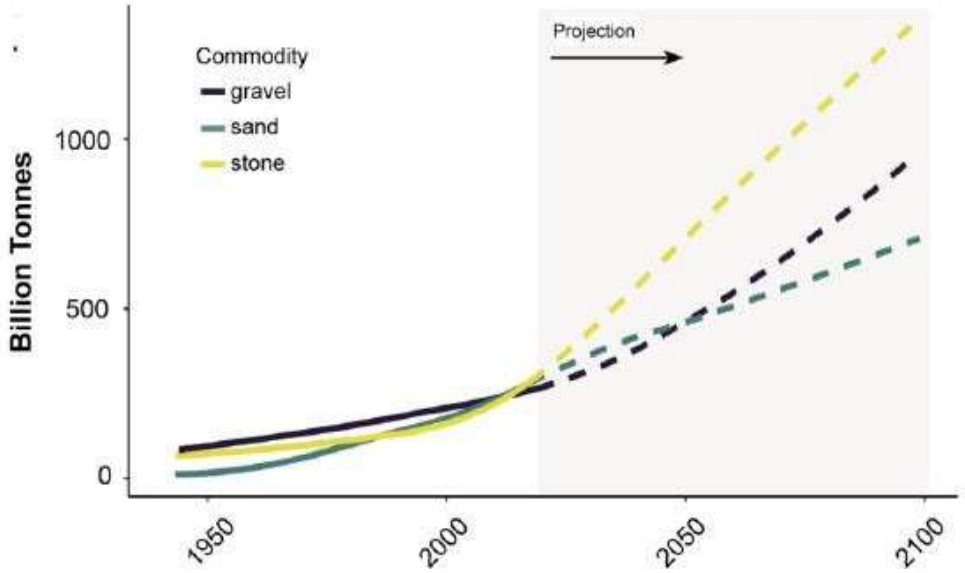


Figure I.1: la consommation des matériaux de constructions , cité dans **[3]**



Figure I. 2: la pollution causée par différents types de déchets industriels.

DALL-E via la plateforme d'Open AI.

I.2. Béton de sable fluide

La formulation du béton de sable fluide (BSF) a émergé en réponse à la pénurie d'agrégats grossiers dans certaines régions, notamment les zones sahariennes d'Algérie. La recherche a donc exploré l'utilisation de matériaux locaux, tels que le sable des dunes, abondamment disponible, pour développer des alternatives aux matériaux de construction conventionnels. Le FSC est conçu pour maximiser la teneur en sable tout en conservant les propriétés essentielles de résistance et de maniabilité, offrant une solution efficace et innovante. Cette formulation améliore la fluidité du mélange, facilitant ainsi la mise en œuvre sur les chantiers et optimisant la performance environnementale, la durabilité, et les coûts.[4]

I.2.1. Définition et composition

Le béton de sable fluide (BSF) combine les propriétés du béton de sable traditionnel avec une fluidité accrue, permettant une adaptation optimale aux exigences actuelles de la construction civile. Ce béton se distingue par son absence de ségrégation ou de saignement, une homogénéité adéquate, et une fluidité qui lui permet de couler et de se consolider par gravité sans aide externe. Ces caractéristiques sont rendues possibles grâce à l'utilisation de superplastifiants avancés, assurant une pompabilité aisée et un placement précis dans des structures complexes ou fortement armées, garantissant ainsi une finition de surface supérieure et une longévité accrue des constructions. [5]

I.2.2. Domaines d'application du béton de sable fluide dans le Génie civil

Les applications potentielles du béton de sable fluide (BSF), telles qu'identifiées dans [4], incluent :

- **Réparations de béton :** Le BSF offre une bonne adhérence et une excellente fluidité, ce qui le rend idéal pour les réparations de structures en béton, où il peut efficacement remplir les fissures et les vides sans nécessiter de vibration pour la compaction.
- **Coulis pour le sol :** Grâce à sa capacité à s'écouler et à se consolider sous son propre poids, le BSF peut être utilisé pour le coulis de sol, améliorant ainsi la stabilité et la capacité de charge du sol sous les fondations des bâtiments.
- **Fondations profondes :** Le BSF est applicable dans la construction de fondations profondes pour les bâtiments, où sa fluidité facilite le pompage et le placement dans des zones difficiles d'accès ou fortement armées, garantissant une finition de surface de haute qualité et la durabilité des structures.

Ces applications illustrent la polyvalence du béton de sable fluide et son potentiel à répondre à divers défis dans le domaine de la construction, en particulier dans les environnements exigeants ou lorsque les matériaux de construction traditionnels sont limités.



Figure I.3: Le Béton de Sable en projection**.**

DALL-E via la plateforme d'Open AI.

I.3. Fondamentaux du béton avec des granulats recyclées

Le béton traditionnel joue un rôle pivot dans l'industrie de la construction, mais son impact environnemental est non négligeable, notamment en raison de la consommation élevée de ressources naturelles comme le sable. Face à ces préoccupations écologiques, le développement de béton à base de granulats recyclés s'offre comme une alternative viable et écologiquement responsable. En substituant les matériaux traditionnels par des granulats provenant de sources recyclées tels que le sable de coquillages, les granulats de granite, de céramique et de verre .cette approche non seulement contribue à la réduction de la dépendance aux matériaux naturels, mais favorise également le recyclage des déchets.

Cependant, l'intégration de ces matériaux recyclés dans la production du béton présente plusieurs défis. Sur le plan technique, les propriétés mécaniques et la durabilité des bétons recyclés peuvent varier, nécessitant des recherches approfondies et des adaptations dans les processus de fabrication pour assurer une qualité comparable à celle du béton traditionnel. De plus, il existe un obstacle majeur lié à la perception et à l'acceptation de ces matériaux dans l'industrie de la construction, où la tradition et les normes établies dominent souvent.

En dépit de ces défis, l'adoption de béton à base de granulats recyclés représente une étape significative vers la durabilité dans la construction. Ce type de béton n'offre pas seulement une solution potentiel pour diminuer l'empreinte écologique de l'industrie, mais il ouvre également la voie à des innovations qui pourraient transformer les pratiques de construction en favorisant un cycle de vie plus vert et plus responsable des matériaux de construction. En avançant dans cette direction, il est crucial de continuer à sensibiliser et à éduquer les acteurs de l'industrie sur les avantages et les possibilités offertes par les bétons recyclés, tout en développant des politiques et des incitations qui favorisent leur adoption.[6]



Figure I.4: Parement de bétons un base des granulats recyclés .**[7]**

I.4. Revue des matériaux alternatifs dans le béton

I.4.1. Sables de coquillage

L'industrie aquacole joue un rôle crucial dans l'économie globale en fournissant nourriture et emplois, essentiels au bien-être des communautés, en particulier dans les zones côtières. Les coquillages, qui sont les coquilles protectrices des mollusques, émergent comme des sous-produits fréquents de cette industrie. Bien que diverses espèces de mollusques soient appréciées comme sources alimentaires, leurs coquilles, jugées inutilisables, sont souvent écartées et accumulées dans des lieux ouverts ou des décharges. Cette pratique non seulement gâche le paysage mais génère également des nuisances olfactives déplaisantes dues à la décomposition microbienne, transformant les sels en divers gaz nocifs comme l'hydrogène sulfuré, l'ammoniac, et les amines.

Ces accumulations des déchets de coquillages peuvent devenir un problème environnemental sérieux dans les régions produisant de grandes quantités de ces déchets. Face à ce défi, une solution innovante et écologiquement responsable se présente : l'utilisation des coquillages comme agrégats dans la fabrication du béton. Les propriétés physiques des coquillages en font des candidats idéaux pour remplacer partiellement ou totalement les agrégats naturels dans le béton. Cette pratique est déjà mise en œuvre par les communautés locales des régions côtières pour des constructions simples telles que les habitations, les fosses septiques, les dalles de cimetières, les dalles de pavage, et les caniveaux.



Figure I.5: accumulations des déchets de coquillages.**[8]**

Depuis plus de deux décennies, des études scientifiques approfondies sont menées pour valider l'efficacité et la viabilité de l'utilisation des coquillages dans le secteur de la construction. Ce recyclage des coquillages contribue à la fois à la protection de l'environnement et à la conservation des ressources naturelles. De plus, réutiliser ces matériaux permet de réaliser des économies substantielles, en réduisant les coûts associés à l'élimination des déchets et à l'extraction de nouveaux matériaux. Dans les cas où les coûts de transport, de stockage, et de traitement des coquillages sont compétitifs par rapport aux agrégats traditionnels, leur utilisation en tant que matériaux recyclés dans le béton devient encore plus économique, offrant ainsi une alternative durable et avantageuse pour l'industrie de la construction.[9]



Figure I.6: La collecte des déchets de coquillages.**[10]**

Les coquilles de bivalves et de gastéropodes des mollusques coquillages sont les principaux coquillages utilisés comme agrégat dans le béton. La production mondiale de mollusques (16 millions de tonnes) représente environ 22 % de la production aquacole globale totale. Les mollusques bivalves sont très courants parmi les espèces de coquillages marins. Environ 87 % des aquacultures de mollusques sont constituées de mollusques bivalves 33,0 % sont des palourdes (y compris les coquilles d'arques et les coques), 31,3 % sont des huîtres, 12,1 % sont des moules et 10,9 % sont des pétoncles et des coquilles Saint-Jacques (Fig 01.). Les ormeaux, les bigorneaux et les lambis représentent environ 2,8 % de la production de coquillages mollusques (Fig I.7.). L'abondance relative des coquillages mollusques dans les régions côtières du monde entier indique que ces coquillages sont disponibles comme matériaux de substitution d'agrégats dans le béton. Ainsi, les coquillages ont le potentiel de devenir des sources importantes d'agrégats secondaires pour le béton dans les localités où les coquillages sont trouvés. [11]

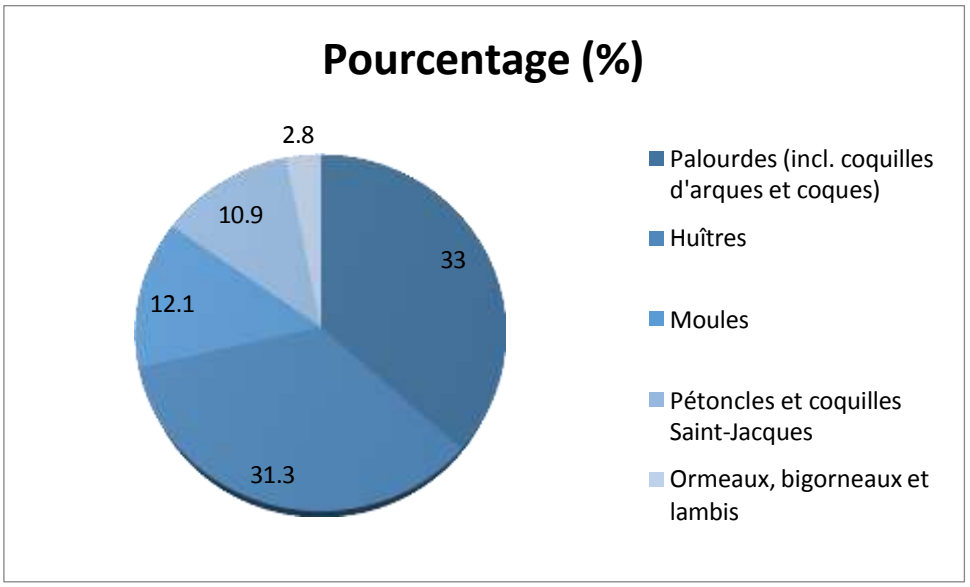


Figure I.7: Pourcentage de la production aquacole mondiale de mollusques. Source : FAO, cité dans [7]



Figure I.8: les différents types de coquillage.

DALL-E via la plateforme d'Open AI.

Le tableau suivant résume la composition chimique selon Carolina Martínez-García et al :

Tableau I.1 : analyse chimique FRX **.[12]**

Paramètre	Gravier de moule (GM)	Sable de moule grossier (SMG)	Sable de moule fin (SMF)	Coquille Saint-Jacques (%)
CaCO3 *	95.248	95.088	94.664	98.143
SiO2	0.056	1.112	2.58	0.1
Na2O	0.174	0.354	0.508	0.3
Al2O3	<0,01	<0,01	0,01	0,1
SO3	0.173	0.176	0.3	0.47
MgO	0.229	0.205	0.277	0.17
Fe2O3	<0,005	<0,005	0,005	0,03
SrO	0.31	0.284	0.428	0.2
K2O	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
P2O5	0.005	0.006	0.006	0.1
Cl	<0,009	<0,009	0,009	<0,02
Br	0.015	0.012	0.012	0.004
ZnO	0.002	0.002	0.002	<0,004
CuO	0.01	0.01	0.011	0.009
ZrO2	<0,004	<0,004	0,002	<0,004
P.F. à 550 °C	4.634	4.608	4.28	2.2
P.F. à 975 °C	45.722	42.108	42.108	43.7

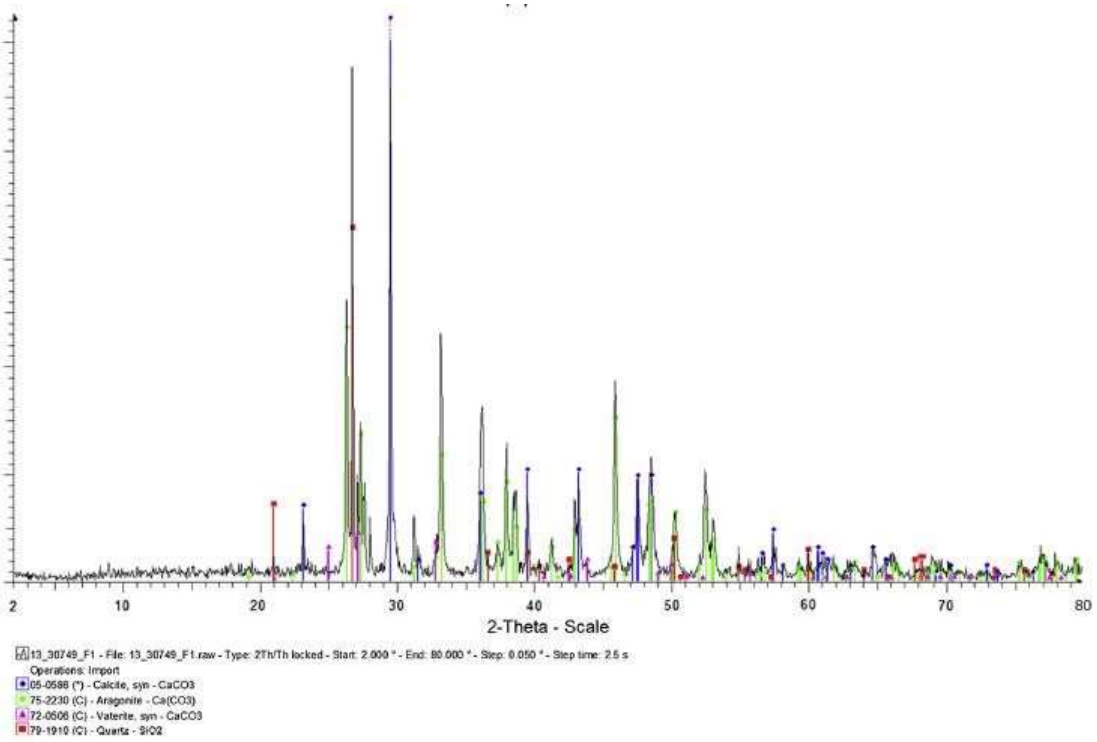


Figure I.9: Diffraction des rayons X de la coquille de moule**[12]**

Avec ce test, les substances organiques présentes à la surface spécifique des coquilles de moules (polysaccharides, protéines et glycoprotéines) sont mesurées. Comme prévu, le résultat de ce test augmente avec la finesse du broyage des coquilles de moules, en raison de la surface spécifique élevée des particules de sable. Enfin, le résultat de la perte au feu à 550 °C (Tableau I.1) indique que tous les échantillons présentent une réduction de masse similaire (toujours inférieure à 5%). Ce pourcentage correspond à toutes les substances organiques volatiles présentes à l'intérieur des coquilles.

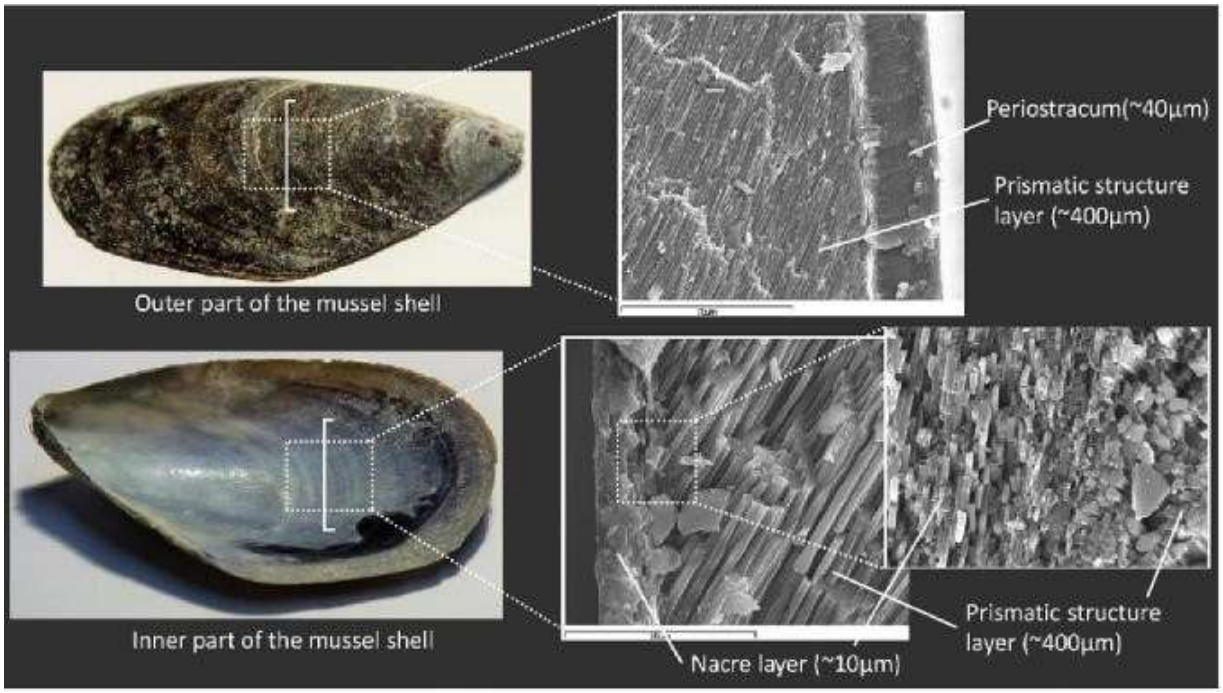


Figure I.10: Description and SEM details of mussel shell structure.**[12]**

L'image présente une caractérisation de la structure des coquilles de moules à l'aide de la microscopie électronique à balayage (SEM). La coquille extérieure, illustrée en haut à gauche, est analysée et montre deux couches principales : le periostracum, une couche externe protectrice d'environ 40 µm, et la couche prismatique, composée de cristaux de carbonate de calcium d'environ 400 µm. Ces couches apportent rigidité et structure à la coquille. La coquille intérieure, illustrée en bas à gauche, révèle une couche de nacre, également appelée "couche perlière", d'environ 10 µm, qui confère un aspect irisé et protège l'intérieur de la coquille. On observe également une couche prismatique similaire à celle de la coquille extérieure. Cette analyse détaillée permet de mieux comprendre la composition et les propriétés mécaniques des coquilles de moules, en mettant en évidence les différentes couches et leurs épaisseurs.

Tableau I.2 : propriétés des agrégats de coquilles de moules**[12]**

Paramètre	GM	SGM	SFM
Traitement thermique	30 min - 135 °C	30 min - 135 °C	30 min - 135 °C
Processus de broyage	Non	Non	Broyé
Module de finesse (µm) UNE-EN 933-1	5,38	1,9	4,64
Densité des particules (kg/l) UNE-EN 1097-6	2,62	2,65	2,73
Absorption d'eau (%) UNE-EN 1097-6	2,17	2,56	4,12
Equivalent de sable (%) UNE-EN 933-8	-	99,3	68,2
Coefficient de Los Angeles (%) UNE-EN 1097-2	20	-	-
Chlorures (%) UNE-EN 1744-1	0,46	0,28	0,51
Sulfates solubles (%) UNE-EN 1744-1	0,4	0,63	0,59
Sulfates totaux (%) UNE-EN 1744-1	1,5	1,6	1,3
Matière organique (visuelle) UNE-EN 1744-1	Plus foncée	Plus foncée	Plus claire
Particules légères (%) UNE-EN 1744-1	0	0,1	-
Matière organique (%) UNE 103204:93	0,27	1,49	2,15

.

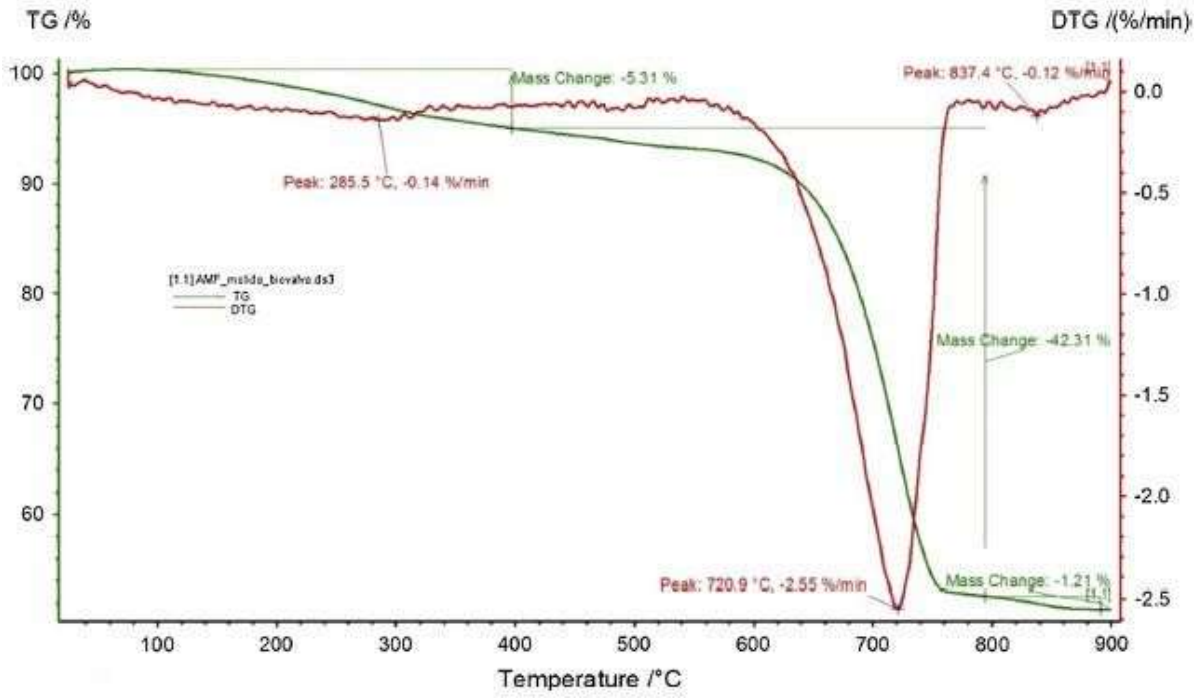


Figure I.11: Analyse thermogravimétrique du sable fin de coquille de moule (SFM).**[12]**

Analyse thermogravimétrique du sable fin de coquille de moule (SFM).
La Figure montre les résultats de l'analyse thermogravimétrique d'échantillons de sable de coquille de moule séchée (SFM). La courbe de perte de masse, en fonction de la température, montre un profil caractéristique pour les coquilles, avec une perte continue jusqu'à 500 °C pour les substances organiques, c'est-à-dire une partie de la structure cellulaire du mollusque (polysaccharides, protéines et glycoprotéines) et des algues qui pourraient être attachées à la surface. Cette réduction est inférieure à 6%, ce qui concorde avec les résultats de perte au feu.

De plus, dans cette plage de températures, deux pics se distinguent à des températures approximatives de 302 °C et 500 °C. Cela correspondrait à des composés organiques spécifiques avec une présence significative dont les températures de sublimation ont été atteintes. À une température plus élevée, entre 670 °C et 800 °C, la réaction principale se produit, qui est la décarbonatation du carbonate de calcium. Dans cette plage de température, les pertes de masse sont supérieures à 40%. Dans le cas du carbonate de calcium avec une pureté de 100%, le calcul stœchiométrique prédit une perte de masse dans cette dernière plage de température de 43,9%. Cela confirme donc la pureté du matériau ; si des calculs stœchiométriques sont effectués, cette perte de CO2 indique une pureté supérieure à 91%, ce qui concorde avec les résultats de la FRX.

Des études telles que celle menée par Brahim Safi et al [13]. Révèlent que les coquillages, notamment ceux des huîtres, des moules et des cockles, partagent des propriétés physiques et chimiques similaires aux agrégats calcaires, en particulier en ce qui concerne leur teneur en calcium. Cette similitude les rend aptes à remplacer, au moins partiellement, les agrégats fins dans diverses compositions de béton. Les travaux de Seo-Eun Oh et al.[14], confirment que l'incorporation de coquillages dans le béton ne compromet pas ses propriétés mécaniques et peut même améliorer sa résistance à des conditions environnementales spécifiques, telles que les cycles de gel et de dégel. D'autres études, comme celles de Cuadrado-Rica et al. (2015)[15] et de Kim Hung Mo et al. (2018),[16] ont examiné l'impact de l'incorporation de coquilles concassées dans le béton sur la Résistance à la Compression, la résistance à la Flexion et la porosité. Cuadrado-Rica et al. ont constaté que la Résistance à la Compression du béton de référence (OC-0%) était de 35,3 MPa à 28 jours, mais cette Résistance diminuait de 9,9%, 20,1% et 26,6% avec des substitutions de 20%, 40% et 60% des granulats naturels par des coquilles de pétoncles, respectivement. De même, Kim Hung Mo et al. Ont observé qu'une substitution de 50% par des coquilles de bigorneaux entraînait une diminution de 30% de la Résistance à la Compression. Concernant la Résistance à la Flexion, Cuadrado-Rica et al. Ont rapporté une résistance en traction indirecte de 3,1 MPa pour le béton de référence, réduite à 2,8 MPa pour une substitution de 40%. Kim Hung Mo et al.[16] Ont également trouvé des diminutions de 10 à 30% dans la résistance en traction et en flexion avec l'incorporation de coquilles marines. Enfin, la porosité augmentait avec l'ajout de coquilles : Cuadrado-Rica et al. ont mesuré des porosités de 18,0%, 17,8%, 19,2% et 21,4% pour des substitutions de 0%, 20%, 40% et 60%, respectivement, à 28 jours. De manière similaire, Kim Hung Mo et al.[16] ont noté que l'augmentation de la porosité était due à la forme et au contenu organique des coquilles, qui réduisent le compactage des particules et augmentent les vides dans le béton. En somme, l'incorporation de coquilles concassées affecte négativement les propriétés mécaniques et augmente la porosité, compromettant ainsi la durabilité du béton. Pour assurer la qualité et la performance du béton contenant des coquillages, il est essentiel de procéder à un traitement préalable de ces agrégats marins, notamment en les lavant pour éliminer le sel et les impuretés organiques, comme le soulignent Cuadrado-Rica et al. [15]

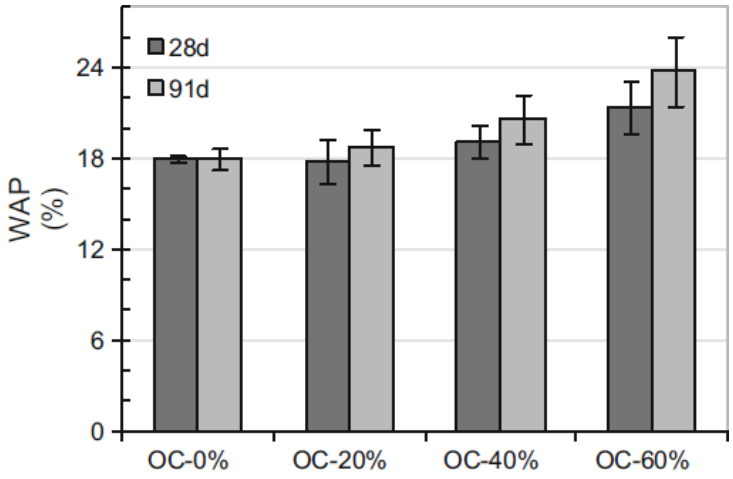


Figure I.12: La Porosité accessible à l'eau. **[15]**

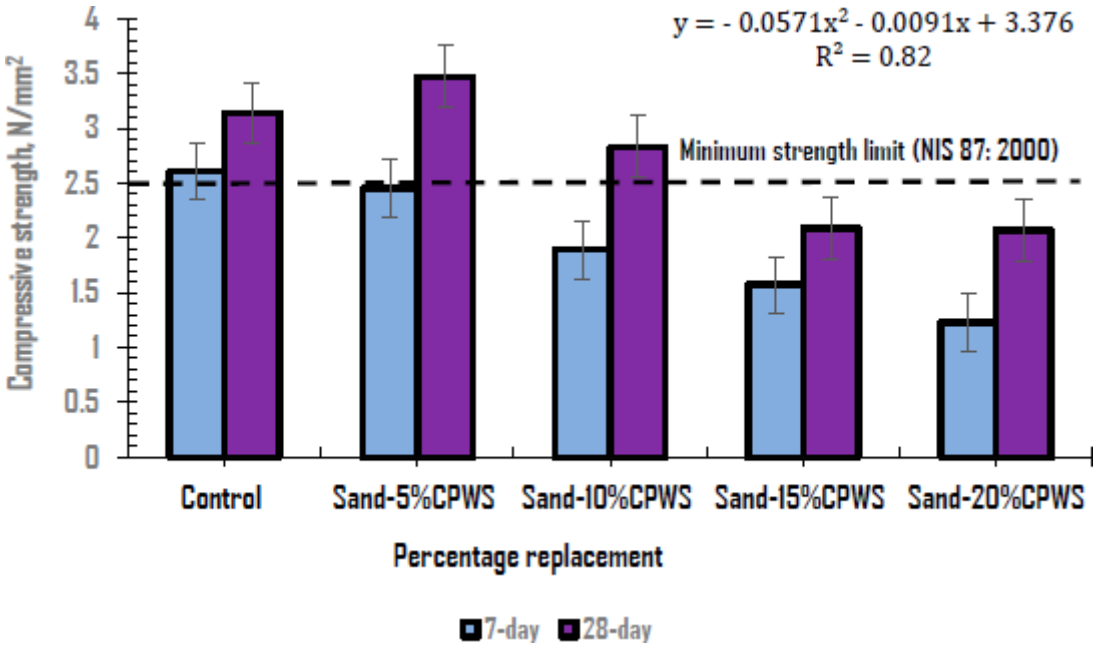


Figure I.13: La Résistance à la Compression.**[17]**

- Les coquillages ont de nombreuses utilisations, allant de la gastronomie à l'artisanat, en passant par la décoration et la recherche scientifique. En cuisine, ils sont prisés pour leur chair délicate et savoureuse, faisant partie intégrante de nombreux plats de fruits de mer, comme les moules marinières, les huîtres gratinées et les palourdes farcies. Dans l'artisanat, les coquillages sont transformés en bijoux, ornements et souvenirs de plage, grâce à leurs formes variées et leurs couleurs attrayantes. Ils sont également utilisés dans la décoration intérieure, où ils apportent une touche marine et naturelle à des compositions artistiques ou à des objets du quotidien. En outre, les coquillages jouent un rôle crucial dans la recherche scientifique, où leurs coquilles sont étudiées pour des informations sur les conditions environnementales passées et présentes, et où leur calcaire est utilisé dans divers domaines industriels. Les coquilles broyées servent aussi d'amendement agricole, améliorant la qualité des sols. Ainsi, les coquillages, au-delà de leur beauté naturelle, sont des ressources polyvalentes et précieuses.

I.4.1. Sables de granite

Chaque année, une grande quantité de déchet de granit, sous-produit du processus de découpe et de broyage dans l'industrie de la maçonnerie, est générée dans le monde entier. La plupart de ces déchets sont mis en décharge, ce qui provoque de sérieux problèmes environnementaux. L'utilisation de granit comme substitut du sable dans le béton pourrait idéalement non seulement aider à minimiser les problèmes environnementaux, mais aussi offrir des avantages économiques. En raison de variations significatives dans les propriétés du matériau utilisé et de différentes compréhensions du béton de substitution granit parmi différents chercheurs, basées sur leurs travaux expérimentaux et les sources de matériaux locales, une compréhension plus concluante et réconciliée devrait être établie pour améliorer la confiance des parties prenantes industrielles dans l'application de ce matériau pour la construction.[18]



Figure I.14: la pollution environnementale causée par les déchets de granite industriels.
DALL-E via la plateforme d'Open AI.

- La substitution du sable naturel (SN) par le sable de granit (SG) peut avoir un impact considérable sur les propriétés du béton, ce qui affecte finalement ses performances structurelles globales. Les propriétés physiques des granulats, telles que la forme, la texture, la granulométrie, ainsi que leur densité et absorption d'eau, jouent un rôle crucial dans les performances du béton à l'état frais et à l'état durci. Ces propriétés influencent non seulement la maniabilité du béton, c'est-à-dire la facilité avec laquelle il peut être mélangé, transporté et mis en place, mais aussi ses propriétés mécaniques, telles que la résistance à la compression, à la flexion et à la traction par fendage.
- Le sable de granit présente plusieurs avantages distincts par rapport au sable naturel. Tout d'abord, la forme angulaire des grains de sable de granit améliore l'interverrouillage entre les particules, ce qui peut conduire à une augmentation de la résistance mécanique du béton. De plus, la texture rugueuse des grains de sable de granit peut offrir une meilleure adhérence à la pâte de ciment, améliorant ainsi la cohésion et la durabilité du béton.[19]

Tableau I. 3 : les propriétés physiques de granit **[6]**

Propriété	DG
Densité spécifique (kg/m3)	2510.0
Module de finesse	2.68
Taille maximale (mm)	4.75
Absorption d'eau (%)	4.34

- La durabilité du béton, qui inclut sa capacité à résister à la perméabilité à l'eau, à l'absorption d'eau, aux attaques sulfatiques et acides, à la carbonatation et à la perméabilité aux chlorures, est également fortement influencée par les caractéristiques des granulats utilisés. [19] Par conséquent, il est essentiel de développer une compréhension approfondie et claire de la relation entre ces différentes propriétés pour optimiser l'utilisation des déchets de granit dans le béton. Cette compréhension est cruciale pour son application industrielle, car elle permettrait d'assurer que les bétons produits avec des substitutions de sable naturel par les déchets de granit offrent des performances comparables, voire supérieures, aux bétons traditionnels. Une telle optimisation pourrait non seulement améliorer la durabilité et la performance mécanique des structures en béton, mais aussi contribuer à la réduction des coûts et des impacts environnementaux associés à la gestion des déchets de granit.[18]
- Tout comme le sable de rivière naturel, le sable de granit (SG) est principalement composées de silice, d'alumine, de terres alcalines (calcium, sodium et potassium), de fer, etc.[20]. Cependant, la composition chimique varie selon les sources en raison de facteurs géologiques.

Le tableau suivant résume la composition chimique de granit selon Hadjadj et al.

Tableau I.4 : la composition chimique de granit **[6]**

Composant	Pourcentage (%)
SiO2	51.29
Al2O3	20.47
Fe2O3	12.58
CaO	11.88
MgO	5.51
K2O	1.47
Na2O	1.36
SO3	0.27

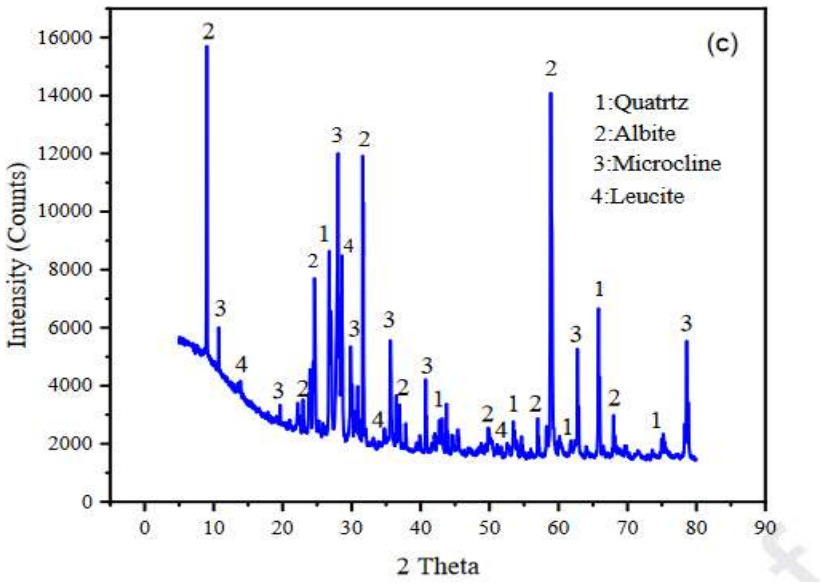


Figure I.15: diffraction des rayons X (DRX) de DG.**[6]**

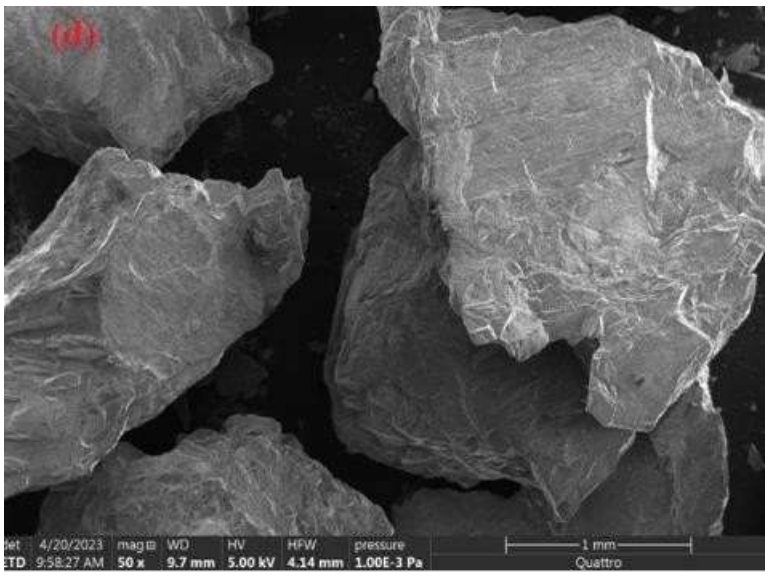


Figure I.16: microscopie électronique à balayage (MEB) de DG.**[6]**

Tel que présenté dans le Tableau I.4, les principaux oxydes formant les DG sont de 51,29 % de SiO2, 11,88 % de CaO, 20,47 % d'Al2O3 et 12,59 % de Fe2O3. En se référant aux pourcentages de SiO2 des GW (51,29 % en poids) et à leur analyse DRX présentée dans la Figure I.14, il a été révélé que les principales phases cristallines des DG étaient le quartz, l'albite et le microcline, ce qui démontre leur nature essentiellement siliceuse. D'après le Tableau I.3, la densité spécifique des DG était de 2,51 g/cm³. La valeur d'absorption d'eau pour les DG était de 4,34 %, ce qui est plus de quatre fois supérieure à celle du sable naturel, indiquant ainsi la porosité élevée des DG comparée au sable naturel. L'investigation par MEB montrée dans la Figure I.15,révèle la forme angulaire et la surface rugueuse des grains de sable des DG .ce qui fournit une meilleure adhérence entre la pâte de ciment et les granulats comparée au sable naturel.[6]

Cependant, les déchets de granit peuvent être utilisés dans le domaine de la construction en raison de sa disponibilité et, surtout, de ses caractéristiques chimiques et physiques de haute qualité [6]. Selon Karmegam et al. [21] , les particules de granit sont plus résistantes à la chaleur, au froid, à l'humidité, aux taches, aux fractures et aux rayures. Plusieurs chercheurs ont découvert le potentiel de l'utilisation des déchets de granit dans la fabrication du béton. Singh et al. [22] ont observé une augmentation de la résistance à la compression et à la flexion ainsi qu'une diminution de la perméabilité du béton en substituant 25% du sable naturel par des déchets de coupe de granit. Vijayalakshmi et al. [23]ont étudié l'impact de l'utilisation des déchets de granit comme substitut partiel du sable de rivière sur les performances mécaniques et la durabilité du béton. Les résultats ont montré que jusqu'à 15% de DG peuvent être utilisés sans affecter négativement ces propriétés. Ghannam et al. [24] ont révélé un effet favorable sur les propriétés mécaniques du béton en remplaçant partiellement le sable de rivière par du DG. Cordeiro et al. [25] ont rapporté un effet négatif sur les propriétés rhéologiques des mélanges de béton lors de l'utilisation du DG comme substitut du sable de rivière. Cependant, l'ajout de superplastifiant (SP) a atténué cet effet. Binici et Aksogan [26] ont découvert que le béton fabriqué avec du granit granulé comme agrégat fin présente des propriétés de durabilité

supérieures à celles du béton conventionnel. Il a également été observé que l'ajout d'agrégat fin de granit procure une matrice plus dense, entraînant un béton moins perméable. Nuaklong et al. [27] ont étudié l'effet du remplacement de 25 et 50% du sable de rivière naturel par des déchets de granit sur les propriétés du béton géopolymère. Ils ont constaté qu'augmenter la proportion de DG dans le mélange augmentait l'écoulement du béton. Par ailleurs, la résistance à la compression précoce s'est améliorée lorsque 50% du sable naturel a été remplacé par des déchets de granit.

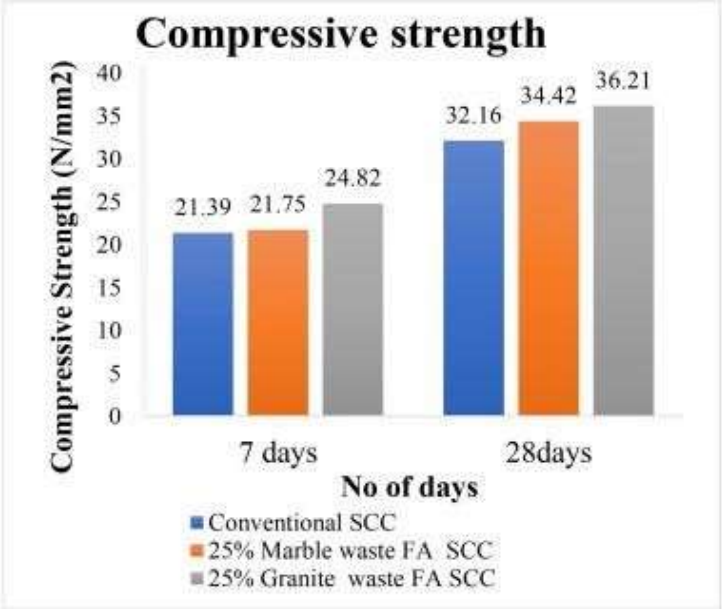


Figure I.17: la résistance à la Compression de DG.**[28]**

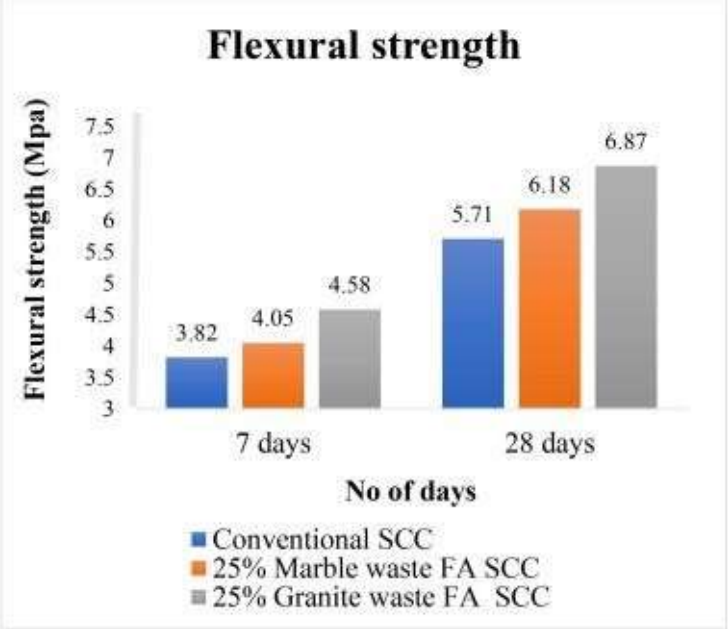


Figure I.18: la résistance à la Flexion de DG. **[28]**

L'utilisation des déchets de granit en général offre une multitude de possibilités pour la valorisation de ces résidus, contribuant ainsi à une gestion plus durable des ressources naturelles. Les déchets de granit, produits lors des processus de découpe et de polissage des blocs de granit, peuvent être réutilisés dans divers domaines, réduisant ainsi l'impact environnemental lié à leur élimination.

Dans l'industrie de la construction, les déchets de granit peuvent être utilisés comme granulats pour la fabrication de béton, pavés, bordures, et autres éléments de maçonnerie. Leur incorporation améliore souvent la résistance et la durabilité des matériaux finaux. En outre, les fines particules de granit peuvent être utilisées pour produire des mortiers et des plâtres, ainsi que pour stabiliser les sols dans les projets de génie civil.

L'industrie de la céramique bénéficie également de l'utilisation des déchets de granit. Ces résidus peuvent être intégrés dans la production de carreaux céramiques, réduisant ainsi la nécessité d'extraire de nouvelles matières premières. Les propriétés physiques et chimiques des déchets de granit contribuent à améliorer la qualité et la durabilité des produits céramiques.

Dans le domaine de l'aménagement paysager, les déchets de granit trouvent une utilisation en tant que paillis décoratif, chemins de jardin et remblais, apportant une esthétique naturelle et durable aux espaces extérieurs. Les résidus de granit peuvent également être employés comme matériau abrasif pour des applications industrielles, en raison de leur dureté et de leur résistance à l'usure.

Enfin, la recherche en matériaux composites explore l'incorporation des déchets de granit dans des matrices polymères pour créer des composites innovants, offrant des performances mécaniques et thermiques améliorées. Cette approche ouvre de nouvelles perspectives pour le recyclage des déchets de granit dans des produits à haute valeur ajoutée.

En résumé, l'utilisation des déchets de granit dans divers secteurs non seulement permet de réduire les impacts environnementaux liés à leur mise en décharge, mais favorise également une utilisation plus efficiente des ressources naturelles, contribuant ainsi au développement durable.

I.4.2. Sables de verre

Le verre, en raison de sa polyvalence, trouve une multitude d'applications dans notre quotidien, notamment à travers des produits manufacturés tels que les tubes à vide, les bouteilles et les vitres. En 2015, aux États-Unis, le flux de déchets solides municipaux (MSW) comprenait environ 10,4 millions de tonnes (11,5 millions de tonnes) de déchets de verre. Parmi ces déchets, 60 % ont été envoyés en décharge, et seulement 26 % ont été recyclés, le reste ayant été éliminé dans des installations de combustion (U.S. Environmental Protection Agency, 2018). La production annuelle mondiale de déchets de verre est d'environ 100 millions de tonnes, mais avec un taux de recyclage encore relativement bas de 26 %. Toutefois, la recherche se penche de plus en plus sur son potentiel en tant qu'alternative écologique au béton. L'utilisation de particules de verre, lorsqu'elles sont de taille inférieure à 100 µm, peut substituer le ciment Portland, tandis que les particules de taille inférieure à 4,75 mm peuvent remplacer les granulats fins. Ces substitutions permettent de réaliser des réductions significatives, avec jusqu'à 19 % de diminution des émissions de gaz à effet de serre, 17 % de baisse de la consommation d'énergie, ainsi que des économies de coûts importantes.[29]



Figure I.19: stockage des pare-brise en verre feuilleté cassés pour recyclage**. [30]**

Le verre manufacturé est classé en quatre catégories principales en fonction de sa composition chimique, de sa forme de base, de son processus de production, de sa marque et de son usage prévu. En termes de recyclage, la classification basée sur la composition chimique est le paramètre déterminant. Ainsi, selon ses propriétés chimiques, le verre peut être classé en cinq catégories principales : le verre sodocalcique, le verre au plomb, le verre au baryum, le verre borosilicaté et le verre aluminosilicaté. Plus de 80 % des déchets de verre, en poids, sont constitués de verre sodocalcique, suivi du verre au plomb et de petites quantités d'autres types. Parmi les déchets de verre éliminés, 63 % sont incolores, 25 % sont ambrés, 10 % sont verts et seulement 2 % sont bleus. Les variations de la composition chimique sont principalement dues aux exigences de leurs applications spécifiques et de légères variations peuvent être observées même au sein du même type de verre dans différentes applications. McLellan *et* Shand [31] .

Ont résumé les compositions chimiques de différents types de verre dans leurs applications comme indiqué dans le Tableau.

Tableau I.5 : Composition chimique des différents types de verre selon leurs applications [31]

Type/Application	SiO2	Na2O	CaO	Al2O3	MgO	K2O	B2O3	BaO	PbO	Autre
Verre sodocalcique (VS) Conteneurs	66–75	12–16	6–12	0.7–7	0.1–5	0.1–3				
VS Verre flotté	73–74	13.5–15	8.7–8.9	3.6–3.8	0.2					
VS Feuille	71–73	12–15	8–10	0.5–1.5	1.5–3.5					
VS Ampoules	73	17	5	1	4					
VS Vaisselle renforcée	75	14	9.5	1.5						
Verre au plomb (VP) Entonnoir de télévision couleur	54	4	4		9	9	23			
VP Tubes néon	63	8	1		6	4	22			
VP Pièces électroniques	56	4	2		9	9	29			
VP Silex optique dense	65	3	1		2	2	65			
Verre borosilicaté (VB) Appareils chimiques	81	4	2	2	13					
VB Pharmaceutique	72	7	6	11				1		
VB Scellage au tungstène	74	4	4	15						
Verre au baryum (VBA) Panneau de télévision	65	7	2		2					10% SrO
VBA Couronne dense baryum optique	36	2	2		9	10		41		9% ZnO
Verre aluminosilicaté (VA) Tubes de combustion	62	1	17	18						
VA Fibre de verre	64.5	0.5	24.5	10.5						
VA Substrats de résistance	57	16	10	7	6					

Voici un résumé des différents types de verre et de leurs utilisations :

- Verre sodocalcique :

    1. Conteneurs : Utilisés pour la fabrication de bouteilles et autres récipients de stockage.
    2. Verre flotté : Employé dans les fenêtres et autres surfaces vitrées plates.
    3. Feuille : Utilisé dans la production de feuilles de verre pour diverses applications architecturales et industrielles.
    4. Ampoules : Employé dans la fabrication d'ampoules électriques.
    5. Vaisselle renforcée : Utilisée pour la fabrication de plats et d'ustensiles de cuisine résistants à la chaleur.
    6. Verre de pare-brise : Utilisé dans les pare-brise automobiles, laminé pour éviter les éclats.

- Verre au plomb :

    1. Entonnoir de téléviseur couleur : Utilisé pour les écrans de téléviseurs à tube cathodique.
    2. Tubes néon : Utilisés dans les enseignes lumineuses et les éclairages décoratifs.
    3. Pièces électroniques : Employé dans certains composants électroniques.
    4. Verre optique dense : Utilisé dans la fabrication de lentilles et autres équipements optiques de haute précision.

- Verre borosilicaté :

    1. Appareils chimiques : Utilisé dans la fabrication de matériel de laboratoire en raison de sa résistance aux températures élevées et aux chocs thermiques.
    2. Pharmaceutique : Employé pour les flacons et autres contenants utilisés dans l'industrie pharmaceutique.
    3. Scellage au tungstène : Utilisé dans des applications nécessitant une grande résistance à la chaleur et à la corrosion.

- Verre au baryum :

    1. Panneaux de télévision couleur : Utilisé dans certains types d’écrans de télévision.
    2. Couronnes denses en baryum optique : Utilisées dans des applications optiques spécifiques nécessitant une haute densité.

- Verre aluminosilicaté :

1. Tubes de combustion : Utilisé dans des environnements à haute température, tels que les brûleurs industriels.
2. Fibre de verre : Utilisé dans la fabrication de matériaux composites, d'isolants et de textiles techniques.
3. Substrats de résistances : Employé dans l'électronique pour la fabrication de composants résistifs.



Figure I.20: stockage des pare-brise en verre feuilleté cassés pour recyclage.[32]

Le tableau suivant résume les différentes propriétés physiques du verre lorsqu'il est utilisé comme agrégat fin dans des applications de construction selon

Tableau I.6 : les différentes propriétés physiques du verre comme agrégat fin **[31]**

Référence	Densité spécifique	Densité apparente (g/cm^3)	Absorption d'eau (%)	Indice de forme (%)	Module de finesse
Park et Lee	2.50–2.52	0.4–0.41	-	-	-
Lam et al.	2.50	-	0.0	-	4.25
Ooi et al.	2.50	-	0.2	-	-
Ismail et Al Hashmi	2.19	1.672	0.39	-	2.36
Disfani et al.	2.48	-	-	-	-
de Castro et de Brito	2.511	1.360	0.03	30.5	-
Wang et al.	2.46	1.665	0.36	-	3.30
Adaway et Wang	2.430	-	0.4	-	2.11
Serpa et al.	2.526	1.353	0.03	30.5	-
Steyn et al.	2.50	1.66	-	-	-

Les propriétés physiques du verre utilisé comme agrégat fin montrent qu'il peut être une alternative viable aux agrégats traditionnels dans le béton. Sa faible absorption d'eau et sa densité comparable à celle des autres agrégats en font un bon candidat pour les applications où la durabilité et la performance mécanique sont importantes. Cependant, des variations dans les indices de forme et les modules de finesse indiquent qu'il est essentiel de bien caractériser le verre utilisé pour s'assurer qu'il répond aux exigences spécifiques des applications envisagées.

Diverses études ont été menées sur le béton et le mortier fabriqués avec du verre recyclé. Les résultats d'une étude ont révélé une diminution de la résistance à la compression et à la traction ainsi que du module d'élasticité du béton auto-plaçant avec l'augmentation de la teneur en verre recyclé[33]. De plus, une mauvaise adhérence entre le ciment et le verre augmente les fissures[34]. D'autres études montrent que le verre recyclé améliore la maniabilité, mais diminue la résistance à la flexion et à la compression du mortier de ciment[35]. Le remplacement du sable par du verre recyclé a causé des saignements et une ségrégation sévères[36], en plus des conditions d'expansion dans le béton[37]. Par ailleurs, l'absence de propriétés d'absorption d'eau des particules de verre a réduit la consistance du mélange de béton et l'adhérence entre le verre et le ciment[38]. Le mortier de ciment mélangé avec du verre recyclé s'est ramolli, a fondu et a présenté une faiblesse significative lorsqu'il a été exposé à des températures élevées[39].

D'autres études ont révélé certains des effets positifs du verre concassé et broyé sur les propriétés du béton et ont suggéré certains additifs pour améliorer la résistance des spécimens de béton. Le béton mélangé avec 20 % de déchets de verre fin a donné les meilleures résistances à la compression et à la flexion[40]. Le mélange de verre recyclé avec 30 % de cendre de riz et le remplacement de 50 % du sable dans les spécimens de béton améliorent à la fois la flexion et la résistance à la compression du béton[41]. Une composition de béton renforcée avec des fibres de verre usées démontre certaines propriétés polymères et améliore la résistance à la traction par fendage[42]. L'ajout de particules de verre dans la pâte de ciment augmente la résistance résiduelle à la compression de la pâte à des températures allant jusqu'à 300 °C, mais diminue de manière significative lorsque la température augmente jusqu'à 600 °C ou 900 °C [43]

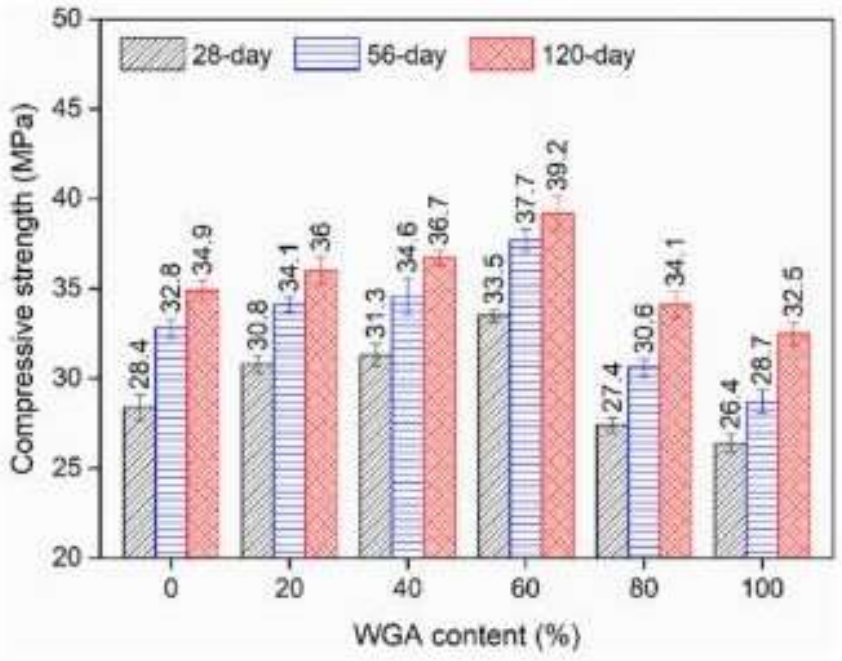


Figure I.21: la résistance à la Compressions .[44]

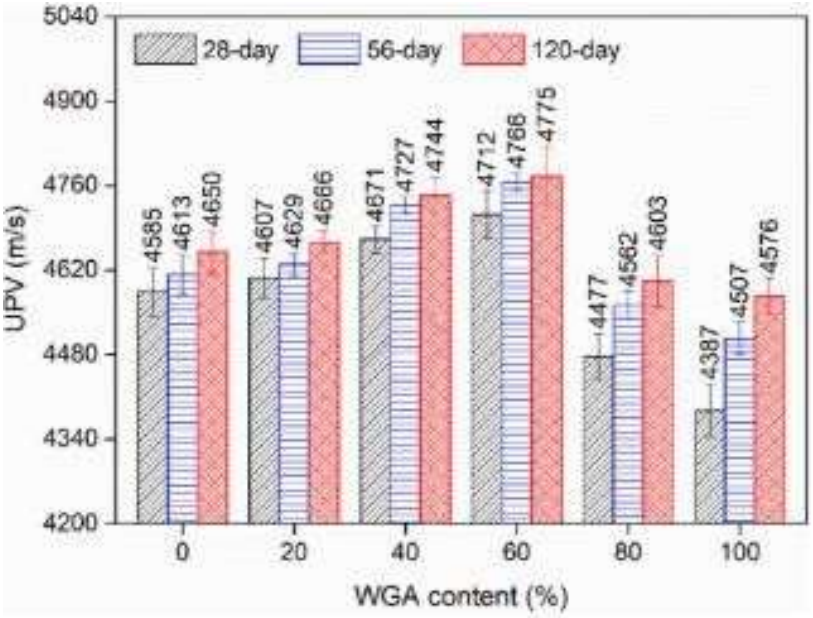


Figure I.22: la vitesse ultrasonique. [44]

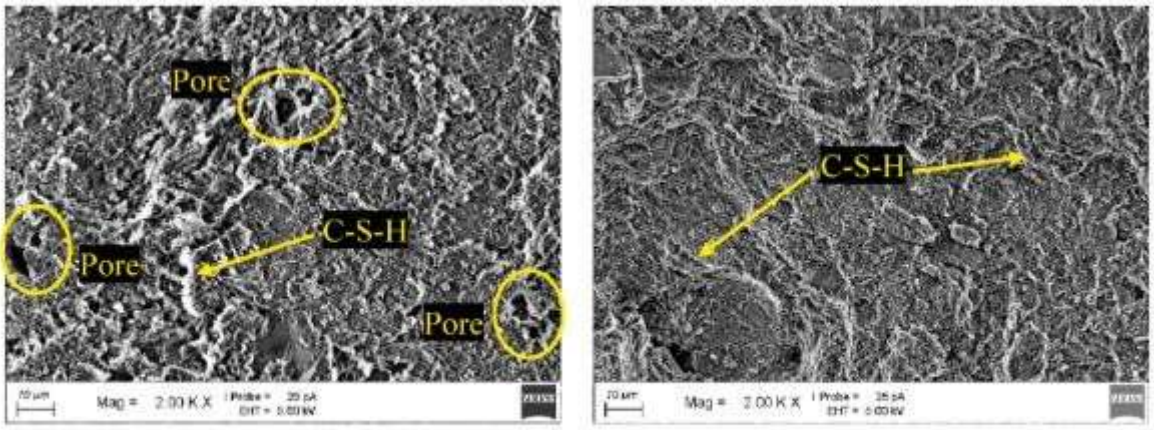


Figure I.23: Micrographies SEM d'échantillons de béton à 120 jours. [44]

Des tests SEM ont été réalisés sur les échantillons à 120 jours, avec les résultats présentés dans la Fig I.23. Comme le montre la Fig, WGA00 révèle une structure avec quelques petits pores et moins de C–S–H, tandis que WGA20, révèlent des microstructures denses avec plus de C–S–H produit lors de la réaction pouzzolanique entre la portlandite et les particules très fines de agrégat fin et de sable de granit. Ce C–S–H nouvellement généré peut jouer un rôle dans le raffinement de la porosité capillaire de la structure du béton,

I.4.3. Sables de céramique

Les produits céramiques sont une composante essentielle de la structure des bâtiments utilisés dans la plupart des constructions. Les carreaux de sol, les carreaux muraux, les articles sanitaires et les céramiques
ménagères sont tous des exemples de céramiques couramment fabriquées [45]. En 2019, la production mondiale de carreaux de céramique était d'environ 12,6 milliards de m², et elle a augmenté pour atteindre 18,2 milliards de m² en 2021. [46] [47]
L'utilisation des déchets céramiques dans le béton s'est avérée être une idée prometteuse pour la valorisation de ces débris céramiques indésirables. Classés comme déchets, ces matériaux peuvent être réutilisés comme matériaux cimentaires additionnels ou comme agrégats dans la fabrication des bétons. L'application des déchets céramiques dans la fabrication du béton pourrait être moins coûteuse en termes de production et plus durable, tout en apportant une solution aux problèmes écologiques.[48]

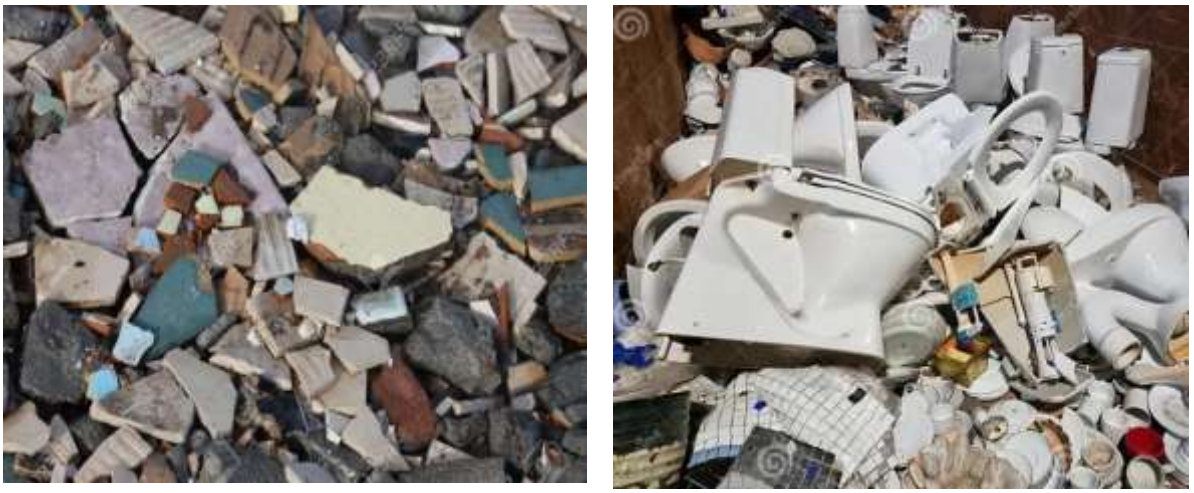


Figure I.24: Déchets de céramique.[49]

Le tableau suivant résume les différentes propriétés physiques des déchets de céramiques selon Md Sabbrojjaman et al. [50]

Tableau I.7 : les différentes propriétés physiques du céramique **[50]**

Réfs.	Absorption d'eau (%)	Masse volumique spécifique	Masse volumique apparente, kg/m³	Densité (kg/m³)
Pacheco-Torgal and Jalali (2010) Waste	6.1	–	–	2210
Halicka et al. (2013)	1.53	2.38	2640	2360
Samadi et al. (2020)	1.3	-	1450	-
Gonzalez-Corominas et Etxeberria (2014)	14.37	-	-	2000

Les données présentées montrent une variation significative des propriétés physiques des déchets de céramique selon les différentes études. Ces variations peuvent être attribuées à plusieurs facteurs, notamment la source des déchets, la méthode de traitement et les conditions expérimentales. Une compréhension approfondie de ces propriétés est essentielle pour optimiser l'utilisation des déchets de céramique dans diverses applications industrielles et de construction.

Ce tableau présente la composition chimique des déchets céramiques analysée dans différentes études selon Md Sabbrojjaman et al. [50] . Les principaux composants chimiques inclus sont SiO2, CaO, MgO, Al2O3, Fe2O3, SO3, TiO2, K2O, Na2O et la perte au feu (P.F.)

Tableau I.8 : la composition chimique des déchets céramiques **[50]**

Réfs.	SiO2 %	CaO %	MgO %	Al2O3 %	Fe2O3 %	SO3 %	TiO2 %	K2O %	Na2O %	P.F. %
Mohammad hosseini et al. (2019)	74.10	1.13	-	17.80	3.58	-	0.44	2.65	-	0.10
Li et al. (2020)	61.72	6.67	0.65	22.31	1.24	0.07	-	1.55	0.96	3.96
El-Dieb and Kanaan (2018)	68.6	1.7	2.5	17.0	0.8	0.12	-	-	-	1.78
Subaşi et al. (2017)	62.3	5.94	0.72	16.5	2.37	0.01	6.78	0.65	0.31	3.65

Les données du tableau révèlent une diversité notable dans la composition chimique des déchets céramiques selon les sources étudiées. Les concentrations élevées de SiO2 et Al2O3 sont typiques des matériaux céramiques et soulignent leur potentiel pour être réutilisés dans diverses applications, notamment dans la construction et la fabrication de matériaux composites. Les variations observées dans les niveaux de CaO, MgO, et d'autres éléments reflètent les différences dans l'origine des matériaux et les méthodes de traitement utilisées. Cette compréhension détaillée de la composition chimique est cruciale pour le développement de stratégies efficaces visant à intégrer les déchets de céramique dans des processus de production soutenables, optimisant ainsi leur valeur dans une économie circulaire.

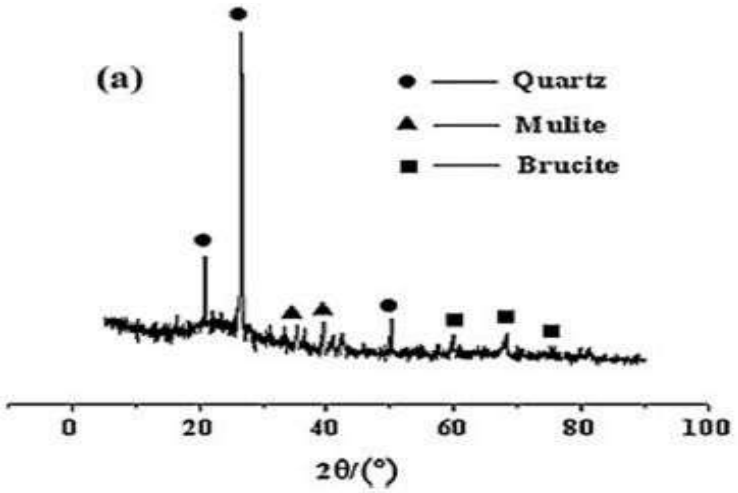


Figure I.25: DRX des déchets céramique.[51]

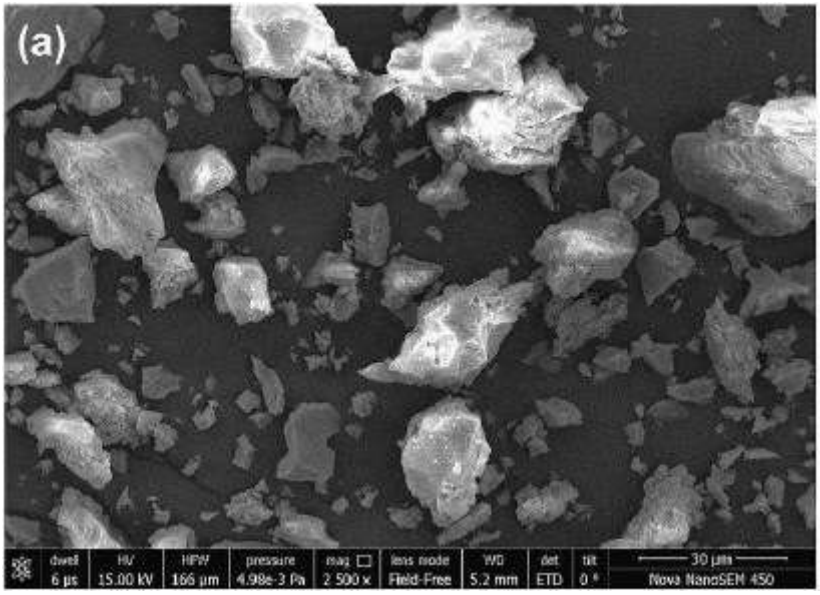


Figure I.26: SEM des déchets de céramique. [51]

L'image présente une micrographie électronique à balayage (SEM) des déchets de céramique. On observe des particules de céramique de tailles et de formes variées. Ces particules, bien que fragmentées, montrent des surfaces irrégulières et des bords anguleux, caractéristiques typiques des matériaux céramiques broyés. Les dimensions des particules varient, et la structure interne complexe de la céramique est visible, ce qui pourrait influencer les propriétés mécaniques lorsqu'elles sont incorporées dans des matrices cimentaires ou d'autres composites.

Dans la technologie du béton, le recyclage des matériaux céramiques n'est pas un domaine de recherche nouveau. La majorité des travaux de la littérature ont constaté l'effet bénéfique de l'utilisation de ces déchets comme agrégats, poudre ou remplissage dans les matériaux cimentaires[52], [53]. Plusieurs auteurs ont prouvé que l'utilisation de ces déchets comme agrégats dans les matériaux composites en béton entraîne une diminution de la maniabilité et de la densité du mélange [54], [55]. Selon Lucas et al. [56], Martínez et al. [50], et Alves et al. [57], pour maintenir la même maniabilité des mélanges, l'incorporation de déchets céramiques nécessite plus d'eau que le mortier de référence correspondant. En outre, ces études précédentes ont également trouvé que l'augmentation de l'incorporation des agrégats céramiques recyclés conduit à une diminution de la densité apparente du mortier.

Une réduction d'environ 50% de la consistance du béton a été observée par Torkittikul et Chaipanich [58] lors du remplacement de la moitié de la quantité de sable naturel par des agrégats de déchets céramiques recyclés. Selon Medina et al. [59], la réduction de l'affaissement du béton n'était que de 5,3% lorsque des déchets céramiques recyclés étaient utilisés dans le béton pour remplacer 25% des agrégats grossiers naturels. Une corrélation linéaire ($R^2 = 0,99$) a été observée entre la perte de maniabilité du béton et la densité avec l'augmentation du contenu en agrégats recyclés.

Abadou et al.[60] ont obtenu une maniabilité approximativement identique (17 s) pour les mélanges avec des taux de substitution allant jusqu'à 40% de sable par des déchets céramiques par rapport au mortier de contrôle.

Les propriétés mécaniques du mortier et du béton incorporant des déchets céramiques ont été étudiées et analysées par plusieurs chercheurs [5]. Abadou et al. [60] ont étudié l'influence des déchets céramiques sanitaires et de faïence (carreaux de sol et muraux) comme sable sur les propriétés du mortier de sable de dune avec des taux de remplacement de 10%, 20%, 30%, 40%, et 50%. Ils ont trouvé une augmentation de la résistance à la compression et à la flexion du béton à mesure que le contenu en déchets céramiques augmentait jusqu'à un optimum de 50%.

Lucas et al [56] . ont testé l'effet du remplacement de 0%, 20%, 50%, et 100% du sable naturel par des déchets de céramique sanitaire broyés tout en conservant la distribution granulométrique constante. Ils ont montré une amélioration de la résistance à la flexion et à l'adhérence pour les mélanges contenant 50% de déchets de céramique sanitaire. De plus, ils ont observé qu'il n'y avait aucun effet sur le module d'élasticité en incorporant des agrégats fins de céramique sanitaire, sauf pour le remplacement total du sable naturel, ce qui a conduit à une diminution de 30%.

D'autre part, Khuram et al.[61] ont rapporté que le remplacement de 30% du contenu en agrégats fins par des agrégats de déchets céramiques dans le béton conventionnel fournit un béton durable avec une résistance à la compression plus élevée et moins d'impacts environnementaux.

L'effet sur les propriétés de durabilité du béton résultant de l'incorporation de déchets céramiques recyclés a été étudié par plusieurs chercheurs. Il est rapporté dans l'étude de Senthamarai et Manoharan . [62] qu'il n'y a pas de changement significatif des caractéristiques de perméation pour le béton avec cet agrégat recyclé par rapport au béton conventionnel. Lucas et al. [56] ont trouvé une réduction du retrait et de la perméabilité à l'eau sous pression avec des coefficients de capillarité similaires à ceux du mortier conventionnel lorsque jusqu'à

50% des agrégats étaient remplacés par des déchets de céramique sanitaire. Pour le mortier avec 50% de déchets de céramique sanitaire, Abadou et al. [60] ont trouvé une résistance plus élevée, une absorption d'eau plus faible et une meilleure résistance aux attaques d'acide chlorhydrique et de solution sulfurique par rapport au mortier de référence. Pacheco-Torgal et Jalali [45] ont également constaté une amélioration de la résistance à la compression et des propriétés de durabilité (absorption d'eau capillaire, diffusion des chlorures et perméabilité à l'oxygène) du béton avec des agrégats céramiques. Keshavarz et Mostofinejad [63] ont observé une augmentation d'environ 54% et 91% de l'absorption d'eau pour le béton incorporant des déchets de porcelaine et de céramique rouge respectivement par rapport au béton conventionnel.

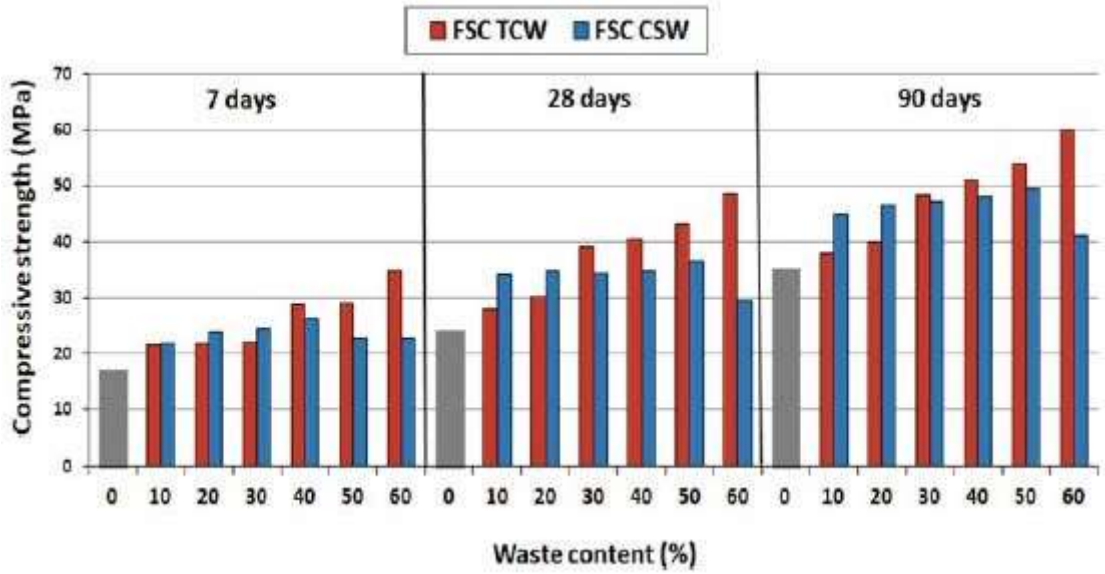


Figure I.27: Effet des déchets de céramique sur la résistance à la Compression.[57]

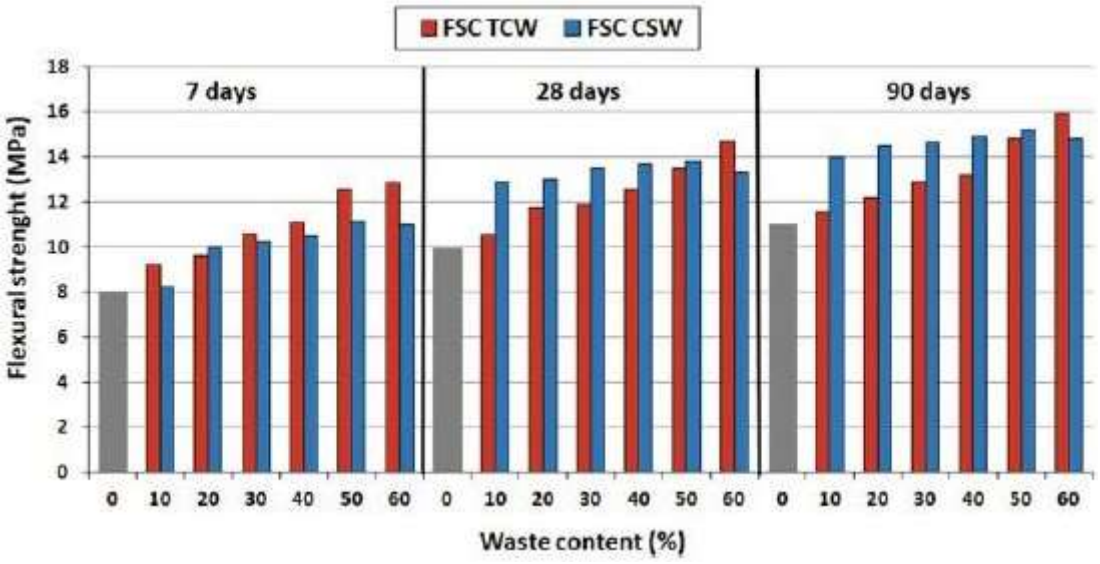


Figure I.28: Effet des déchets de céramique sur la résistance à la Flexion. [57]

I.4.4. Poudre de marbre

Le marbre, fréquemment utilisé dans la construction, génère d'importants déchets lors de son extraction, traitement et polissage, affectant l'environnement à hauteur de 70%. Ces déchets contribuent à divers problèmes environnementaux tels que la pollution de l'air, l'obstruction des égouts et la dégradation des terres agricoles. Toutefois, des recherches récentes ont mis en évidence que ces déchets de marbre, utilisés sous forme d'agrégat fin ou de poudre, peuvent améliorer esthétiquement, mécaniquement et écologiquement le béton.



Figure I.29:la poudre de marbre.

La poudre de marbre est principalement composée de $CaCO_3$ (carbonate de calcium) [64]. La composition chimique de la poudre de marbre se présente comme suit :

Tableau I.9 : Composition chimique de la poudre de marbre.

Composant chimique	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Cl
Pourcentages (%)	0,27	4,39	0,12	94,31	0,56	0,06	0,1

L'intégration de marbre dans le béton en tant que substitut au ciment ou comme agrégat fin améliore significativement ses propriétés de résistance et de durabilité, offrant ainsi une solution plus durable et écologique pour la production de béton [65]. Plusieurs études ont montré que l'utilisation du marbre en tant qu'agrégat fin est préférable en raison de sa nature inerte. Par rapport au béton fabriqué avec du marbre comme substitut de ciment, celui utilisant le marbre comme substitut de sable présente de meilleures caractéristiques [66]. L'ajout de 20% de poudre de marbre au mélange améliore la durabilité et la résistance à la carbonatation du béton, ainsi que sa capillarité. L'utilisation de déchets de marbre dans le béton a également entraîné une augmentation de 20% de la résistance et une réduction de 30% du retrait [67].

P.A. Velci Shridevi et al.[68] Ont mené des recherches approfondies sur l'effet des déchets de marbre sur la résistance à la compression du béton. Ils ont constaté que lorsque 15 % des fines granulats ont été remplacés par de la poudre de marbre, la résistance à la compression atteignait son niveau le plus élevé. Toutes les investigations ont été réalisées en utilisant 15 % de poudre de marbre en remplacement des fines granulats. Le niveau idéal de mélange de béton a été identifié à 15 % de remplacement, ce qui a significativement amélioré la résistance à la compression à 28 jours par rapport au mélange nominal. Les résultats ont montré que les remplacements de 0 %, 5 %, 10 %, 15 % et 20 % ont amélioré les attributs liés à la durabilité. Cependant, les caractéristiques de résistance diminuaient lorsque la proportion de poudre de marbre augmentait au-delà de 15 % ; par exemple, les mélanges avec 20 %, 25 % ou 30 % de poudre de marbre présentaient une augmentation moindre des résultats. Il a été établi que le béton renforcé de fibres (FRC) avait une résistance à la compression supérieure de 6 % par rapport au béton ordinaire. Les tests ont également démontré que ce déchet industriel pouvait améliorer les performances du béton durci jusqu'à 20 %, ainsi que le comportement du béton frais et simple. En outre, la capacité portante ultime des échantillons augmentait progressivement à mesure que la classe de résistance du béton autocompactant renforcé (FRSCC) augmentait, en raison d'une diminution du rapport eau-ciment et d'une augmentation de la teneur en matériau liant, ce qui réduisait la porosité du béton durci et renforçait la force de liaison du matériau liant.

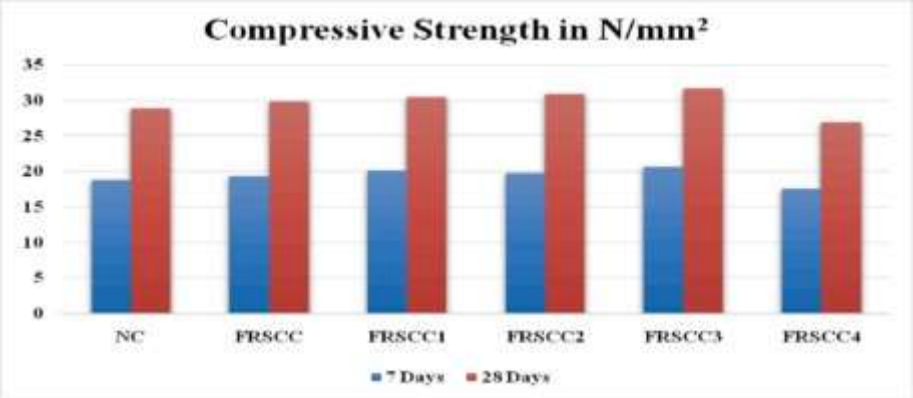


Figure I.30:la résistance à la Compression du béton avec différents % de poussières de marbre.[68]

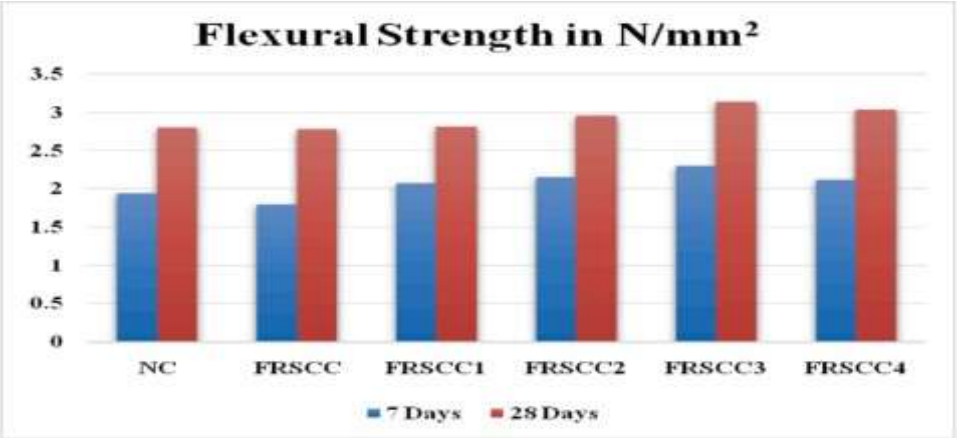


Figure I.31:la résistance à la Flexion du béton avec différents % de poussières de marbre. [68]

La poudre de marbre trouve de nombreuses applications dans divers domaines, grâce à ses propriétés physiques et chimiques favorables. Voici quelques domaines d'utilisation en général :

- Construction : La poudre de marbre est largement utilisée dans la fabrication de bétons et de mortiers. Elle améliore la résistance à la compression et la durabilité des matériaux de construction. Elle est également utilisée pour produire des revêtements de sol et des carrelages, offrant des surfaces solides et esthétiques.

- Peinture et enduits : Dans l'industrie des peintures et des enduits, la poudre de marbre sert de charge minérale. Elle améliore la texture, la durabilité et la résistance des revêtements, tout en fournissant une finition lisse et esthétique.

- Plastiques et caoutchoucs : La poudre de marbre est ajoutée comme charge dans les plastiques et les caoutchoucs pour améliorer leurs propriétés mécaniques, telles que la rigidité et la résistance à l'usure, ainsi que pour réduire les coûts de production.

- Industrie du papier : Utilisée comme agent de charge et de blanchiment, la poudre de marbre améliore la qualité et la blancheur du papier, tout en réduisant les coûts de production.

- Agriculture : Dans l'agriculture, la poudre de marbre est utilisée comme amendement du sol pour corriger l'acidité du sol et fournir du calcium, un élément nutritif essentiel pour les plantes.

- Cosmétique et soins personnels : Elle est employée comme ingrédient dans certains produits cosmétiques et de soins personnels, tels que les exfoliants et les poudres de maquillage, en raison de sa finesse et de sa douceur.

- Art et restauration : La poudre de marbre est utilisée dans la restauration des monuments historiques et des œuvres d'art en pierre, ainsi que dans la fabrication de sculptures et d'autres objets décoratifs.

- Fabrication de verre et de céramique : En tant que source de calcium, la poudre de marbre est utilisée dans la fabrication de certains types de verre et de céramique, contribuant à améliorer leurs propriétés physiques et chimiques.

I.5. Conclusion

En conclusion, cette analyse souligne l'urgence pour le secteur de la construction de se réinventer face à la crise environnementale et à la pression croissante sur les ressources naturelles. L'adoption de pratiques durables, telles que l'utilisation accrue de matériaux recyclés et le développement de technologies pour substituer les agrégats naturels, apparaît comme une réponse stratégique incontournable. En Algérie, la valorisation des déchets solides se profile comme une opportunité cruciale, permettant non seulement de gérer efficacement les déchets mais aussi de promouvoir la production d'énergie renouvelable. Ces initiatives, soutenues par une collaboration renforcée entre les gouvernements, les chercheurs et les entreprises, sont essentielles pour développer des normes de construction écologiques et pour éduquer les professionnels du secteur sur les pratiques durables. Ainsi, en embrassant les principes de l'économie circulaire, le secteur de la construction peut non seulement prévenir les crises futures mais aussi jouer un rôle de pionnier dans la préservation des ressources naturelles pour les générations à venir. Cette transition vers une économie circulaire robuste est essentielle pour minimiser l'impact environnemental et stimuler une croissance économique durable en Algérie et au-delà.

Chapitre II

Matériels et méthodes

II.1. Introduction

Ce chapitre présente les matériaux et les techniques expérimentales utilisés dans notre étude, visant à garantir la qualité et la fiabilité des résultats. Il est structuré en trois parties principales. Tout d'abord, il décrit les caractéristiques et les propriétés des matériaux de base utilisés dans la composition du béton de sable fluide, incluant différents types de sable, de granulats et d'additifs chimiques. Une attention particulière est accordée à la granulométrie des sables, à la nature et à la forme des granulats, ainsi qu'aux propriétés chimiques et physiques des ciments, essentiels pour la performance des bétons. Ensuite, la méthode de formulation adoptée pour les différentes compositions des bétons de sable est exposée, incluant la détermination des proportions optimales des constituants et les techniques de mélange. Cette méthode vise à obtenir un équilibre optimal entre la maniabilité du béton frais et les performances mécaniques du béton durci. Enfin, les essais réalisés sur les mortiers et les composites à l'état frais et durci sont présentés. Les essais sur béton frais mesurent des propriétés comme l'étalement, indicateur clé de maniabilité. Les essais sur béton durci évaluent les propriétés mécaniques et la durabilité, incluant la résistance à la compression, à la Flexion. Des techniques non destructives comme les ultrasons et des tests de porosité et de conductivité thermique et l'absorption de l'eau sont également utilisés pour évaluer l'intégrité interne et la perméabilité du béton, garantissant ainsi la performance et la pérennité des structures construites.

II.2. Caractérisation des Matériaux Utilisés

Pour la fabrication du béton, nous avons utilisé des matériaux locaux de la wilaya de Médéa. Ces matériaux ont été caractérisés expérimentalement au laboratoire de génie civil, en conformité avec les recommandations des normes en vigueur.

II.2.1. Ciment

Le ciment utilisé est CPJ-CEM II/A (Mâtine) (Figure), est un ciment Portland artificiel dont la résistance minimale à la compression à 28 jours est de 42,5 MPa, produit par la cimenterie de LAFARGE dont l'ajout est le calcaire qui est conforme à la norme [NA442]

Le tableau 10 résume l'Analyse chimique du ciment et composition hypothétique du clinker, selon la fiche technique du ciment.

Tableau II. 1 : L'analyse chimique du ciment et composition du clinker.

Analyse chimique Du ciment	Perte au feu (%) (NA 5042) 7.00-9.50	7.00-9.50
	Résidus insolubles (%) (NA 5042)	1.50-3.00
	Teneur en sulfates SO3 (%) (NA 5042)	2.00-2.50
	Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1.90-2.30
	Teneur en chlorures (%) (NA 5042)	0.01-0.03
Composition hypothétique du clinker	Silicates tricalciques C3S (%)	58.00-64.00
	Aluminates tricalciques C3A (%)	6.00-8.00



Figure II. 1: Le ciment utilisé (Annexe A)

II.2.2. Granulats

II.2.2.1. Sable

Nous avons utilisé un sable provenant de l'Oued Saouf, dont les caractéristiques sont présentées dans le tableau 11 La figure 5 illustre la courbe granulométrique du sable utilisé.

Tableau II. 2 : Propriétés physiques d'identification de sable utilisés.

Caractéristiques	Sable
Provenance	Oued sauf
Classe granulaire	0/3
Module de finesse	2.23
Masse volumique absolue (g/cm^3)	2.63
Masse volumique apparent (g/cm3)	1.18
Equivalent de sable (%)	81
Taux d'absorption d'eau (%)	0.96
Compacité (%)	50
Porosité (%)	50

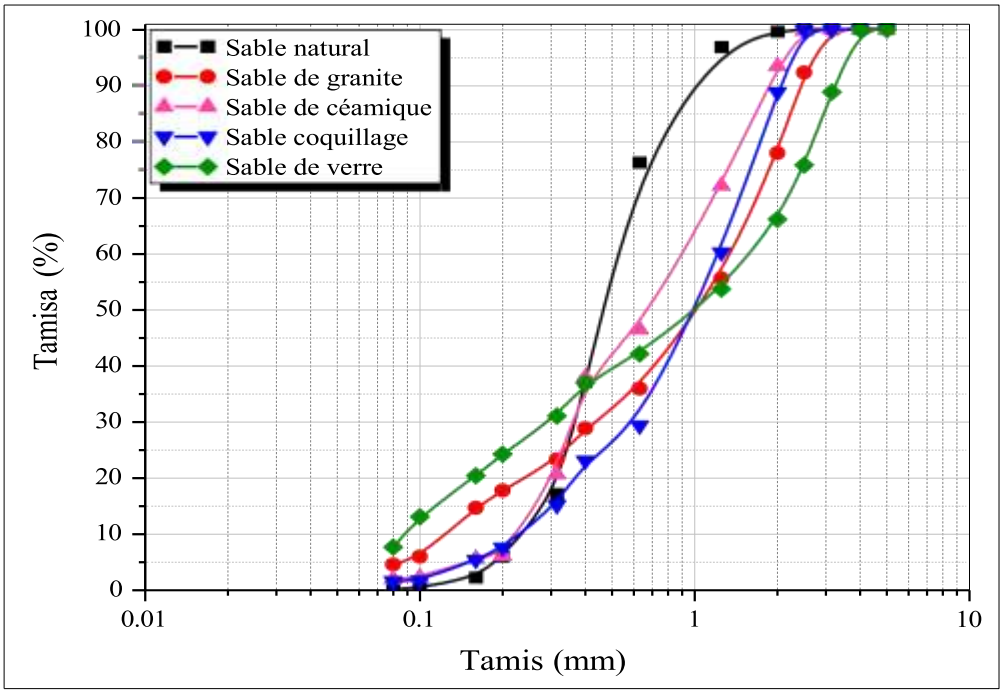


Figure II.2: Courbe granulométrique des sables utilisés.



Figure II.3: Sable moyenne d'Oued sauf.

II.2.2.2. Sable de Granit

Les déchets de granite utilisés au cours de ce travail proviennent de l'usine de l'industrie du granite. Après récupération, ces déchets ont été broyés pour être utilisés comme substitut au sable traditionnel dans la fabrication du béton fluide. Les granulats de granite ainsi obtenus présentent une taille de grain comprise entre 0 et 3 mm, correspondant à une granulométrie de sable (0/3).



Figure II.4: préparation du sable de granit.

Les caractéristiques granulométriques des déchets de granit utilisés dans cette étude sont détaillées dans la figure 4, qui présente la distribution granulométrique des particules. De plus, le tableau 12 résume les principales propriétés physico-chimiques de ces déchets, incluant des paramètres tels que la densité, l'absorption d'eau.. etc.

Tableau II.3 : Propriétés physiques de sable de granit.

Caractéristique	**Sable de granit**
Classe granulaire	0/3
Module de finesse	2.8
Masse volumique absolue (g/cm^3)	2.52
Masse volumique apparent (g/cm3)	1.8
Taux d'absorption d'eau (%)	0.9
Compacité (%)	47.01
Porosité (%)	52.99

II.2.2.3. Sable de Céramique

Les déchets de céramique utilisés au cours de ce travail proviennent d'une usine de l'industrie céramique. Après leur récupération, ces déchets ont été soigneusement broyés pour être utilisés comme substitut au sable traditionnel dans la fabrication du béton fluide. Le processus de broyage permet d'obtenir des granulats de céramique présentant une taille de grain comprise entre 0 et 3 mm, correspondant ainsi à une granulométrie de sable (0/3).



Figure II.5: préparation du sable de céramique.

Les détails des caractéristiques granulométriques des déchets de céramique utilisés dans cette recherche sont exposés dans la figure 4, où l'on peut observer la distribution de la taille des particules. En complément, le tableau 13 recense les principales propriétés physico-chimiques de ces déchets, telles que la densité et l'absorption d'eau, parmi d'autres paramètres pertinents.

Tableau II.4 : Propriétés physiques de sable de céramique.

Caractéristique	**Sable de céramique**
Classe granulaire	0/3
Module de finesse	2.8
Masse volumique absolue (g/cm^3)	2.4
Masse volumique apparent (g/cm3)	1.18
Taux d'absorption d'eau (%)	9
Compacité %	47.20
Porosité %	52.80

II.2.2.4. Sable de coquillage

Les déchets de coquillages utilisés dans cette étude ont été collectés sur les plages. Une fois ramenés au laboratoire, les échantillons ont subi plusieurs cycles de lavage afin de les purifier et d'éliminer les impuretés. Ils ont ensuite été exposés à une température de 200 °C pendant 24 heures dans un four. Après ce traitement thermique, les échantillons ont été broyés et tamisés à travers un tamis de 3.15 mm pour homogénéiser la taille des particules, afin de reproduire une forme comparable au sable traditionnellement utilisé. La répartition granulométrique et les propriétés physiques de ces déchets de coquillages sont détaillées dans la figure 4 et le tableau 14.

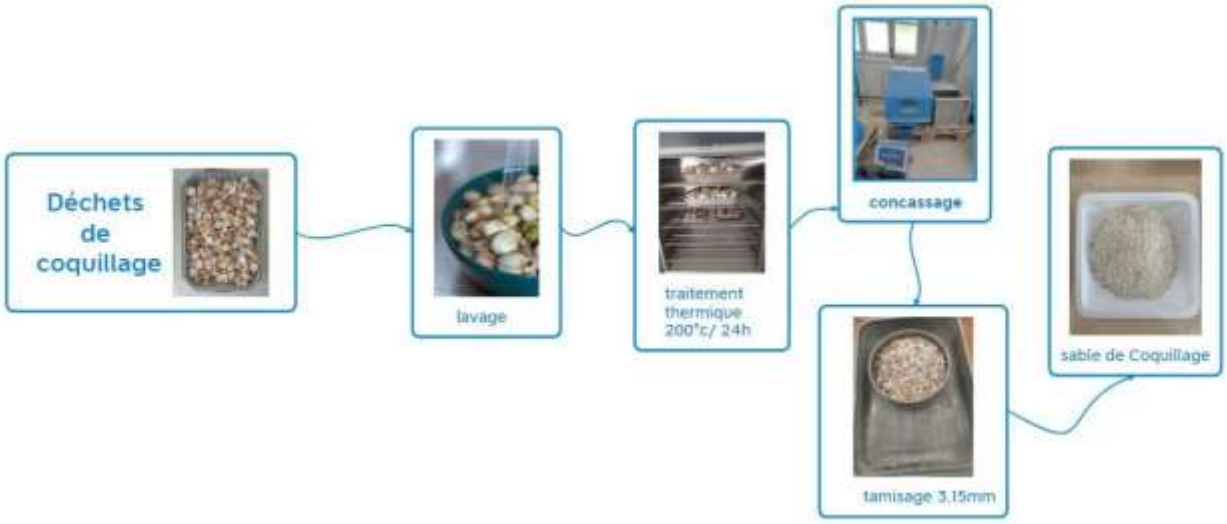


Figure II.6: préparation du sable de coquillage.

Tableau II.5 : Propriétés physiques de sable coquillage.

Caractéristique	Sable de coquillage
Classe granulaire	0/3
Module de finesse	2.9
Masse volumique absolue (g/cm^3)	2.82
Masse volumique apparent (g/cm3)	1.50
Taux d'absorption d'eau (%)	2
Compacité (%)	43.23
Porosité (%)	56.77

II.2.2.5. Sable de verre

Les déchets utilisés dans notre étude proviennent de la récupération de verre rejetés dans la nature (pare-brise). Après collecte, ces déchets de verre ont été concassés, broyés et tamisés. Le granulat de verre ainsi obtenu a été incorporé dans le béton de sable fluide en remplacement partiel du volume de sable, Le tableau 15 résume les différentes caractéristiques physiques des déchets de verre utilisés.

Tableau II.6 : Propriétés physiques de sable verre.

Caractéristiques	Valeurs
La masse volumique apparente (Kg/m^3)	1.39
La masse volumique absolue (Kg/m^3)	2.41
Module de finesse	2.6
Couleur	Blanc grisâtre (transparent)
La compacité (%)	45
La porosité (%)	55

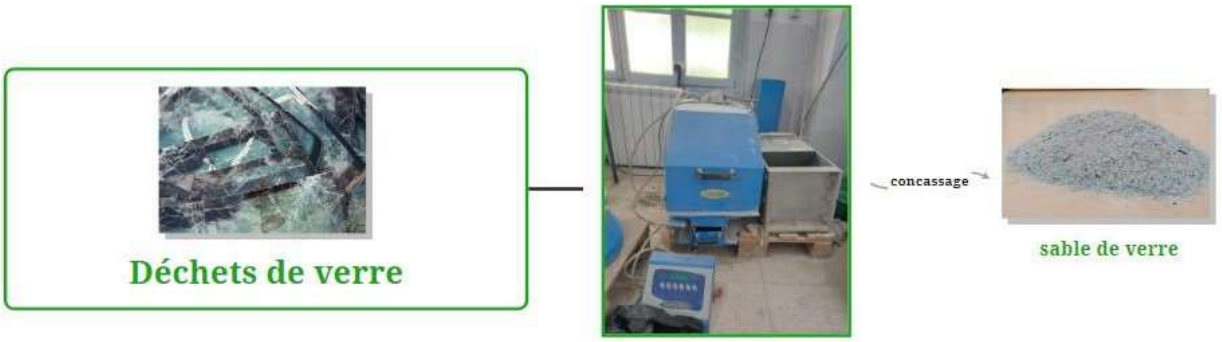


Figure II.7: préparation du sable de verre.

II.2.3. Eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée pour la confection des bétons est celle du robinet considérée Comme potable, exempte de toute impureté nuisible au béton et conforme à la norme NF EN 1008. Sa température est comprise entre 18 et 20°C.

II.2.4. Superplastifiant

Pour assurer une ouvrabilité satisfaisante, on a employé un Superplastifiant – Haut réducteur d'eau à base de poly-carboxylate d'éther formulé à base de polymère de synthèse combinée commercialisé par la société SikaCem, sous le nom « tempo 10 » .Voir la fiche technique en < annexe B> pour avoir plus de détaille sur ce adjuvant.



Figure II.8: Superplastifiant tempo 10.

Tableau II.7 : Propriétés physiques de super-plastifiant.

Aspect	**Liquide**
Couleur	Brun clair
PH	6 – 6.5
Densité	1.07 ± 0.01
Teneur en chlore	< 0.1 g/L
Extrait sec	30%

II.2.5. Poudre de marbre

La poudre du marbre utilisée en obtient à partir du déchet des marbreries concassé et brouée à une certaine finesse de 3000 cm^2/g



Figure II.9: poudre de marbre.

II.3. Formulation du béton de sable fluide

L'objectif de la formulation est de déterminer la quantité nécessaire pour chaque matériaux du gâchée, afin d'obtenir un béton (BSF) avec des propriétés souhaitées.

Notre étude est focalisée sur l'influence de l'ajout des déchets de coquillage ,granite , verre et céramique et de issues de quatre différentes formes (SQ , SG , SV et SC) sur les caractéristiques à l'état frais et durci d'un béton de sable fluide.

Afin de déterminer les quantités des matériaux : sable, ciment, filer, eau et adjuvant, nous nous sommes basés sur le rapport E/C+F= 0.4.

Les différentes compositions sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau II.8 : les composantes des bétons formulés à base des déchets de coquillage, granit, verre et céramique.

Mélange	Ciment	Filler	Eau	Sable	SQ	SG	SV	SC	SP (%)
BSF T	400	200	240	1400	0	0	0	0	0.80
BSF 1	400	200	240	1169.96	230.04	0	0	0	0.80
BSF 2	400	200	240	1198.02	0	201.98	0	0	0.80
BSF 3	400	200	240	1205.23	0	0	194.77	0	0.80
BSF 4	400	200	240	1205.23	0	0	0	194.77	0.80
BSF 5	400	200	240	578.44	230.04	201.98	194.77	194.77	0.80

BSFT : Béton de sable fluide témoin.

BSF_n : Béton à base de déchet de coquillage, granite, verre et de céramique.

SQ : sable de coquillage.

SG : sable de granite.

SV : sable de verre.

SC : sable de céramique.

La composition du béton de sable pour la confection des éprouvettes est basée sur la méthode expérimentale du projet SABLOCRETE de 1994. Les déchets de coquillage, granit ,céramique et verre sont incorporés dans la masse du béton de sable par substitution volumique du sable. Les formulations de béton de sable obtenues se classifient comme suit :

BSFT:Béton de sable fluide témoin.

BSF1:Béton de sable fluide de 15% de SQ.

BSF2:Béton de sable fluide 15% de SG

BSF3:Béton de sable fluide 15% de SV

BSF4:Béton de sable fluide et 15% de SC.

BSF5:Béton de sable fluide 15% de SQ,15 % de SG, 15% de SV et 15% de SC.

II.3.1. Séquence de malaxage du béton

Pour obtenir un mélange homogène, suivez les étapes ci-dessous :

- Malaxage à sec : Mélanger à sec le ciment, le sable, le filler de marbre et les déchets de coquillage,granit,verre et céramique pendant 30 secondes à l'aide d'un malaxeur .
- Ajout d'eau initial : Ajouter la première quantité d'eau (w1 = 70% de l'eau totale) et mélanger pendant 1 minute.
- Ajout d'eau et superplastifiant : Ajouter le restant de l'eau de gâchage (w2 = 30% de l'eau totale) mélangée avec le superplastifiant, et Malaxer pendant 1 minute.
- Repos du mélange : Laisser le mélange reposer pendant 3 minutes.
- Malaxage final : Malaxer à nouveau le mélange pendant 1 minute.

Cette séquence de malaxage est appliquée de manière identique pour tous les mélanges de béton de sable fluide.

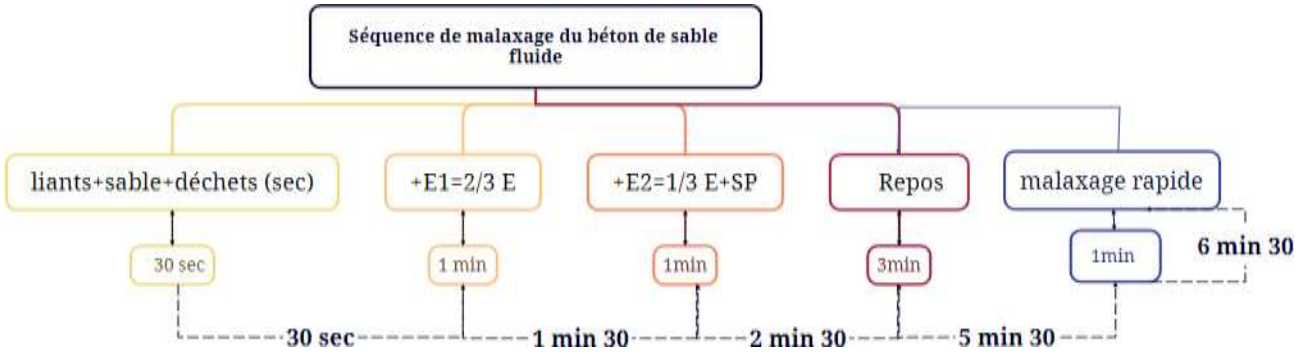


Figure II.10: Séquence de malaxage du béton de sable fluide.



Figure II.11: protocole de malaxage.

II.3.2. Préparation et conservation des éprouvettes

Les différents types de bétons de sable fluide sont tous fabriqués dans l'environnement de laboratoire. Le béton de sable fluide a été coulé dans des moules métalliques de forme prismatiques **4x4x16cm** destinées aux essais de compression conformément à la norme NFEN12390-2.

La conservation des éprouvettes de béton dans l'eau, également connue sous le nom de cure, est une étape cruciale pour assurer le développement optimal des propriétés mécaniques du béton. Après le démoulage, les éprouvettes sont immergées dans un bain d'eau à une température contrôlée, généralement autour de 20°C. Cette immersion permet d'éviter la perte d'humidité du béton, assurant ainsi une hydratation continue du ciment. La cure dans l'eau favorise le durcissement et améliore la résistance du béton, minimisant les risques de fissuration et de retrait. Cette méthode est maintenue pendant une période spécifique, souvent 28 jours, pour garantir que le béton atteigne ses performances maximales.



Figure II.12: Préparation et conservation des éprouvettes.

II.4. Essais réalisés sur le BSF

II.4.1. Etat frais

II.4.1.1. L'étalement au mini-cône

L'essai d'étalement consiste à remplir un moule tronconique place sur une surface horizontale lisse, une fois le moule soulève, le diamètre d'étalement du mortier est mesure suivant deux directions perpendiculaire, la moyenne est retenu. La figure 15 montre les étapes de l'essai d'étalement mini cône selon la recommandation NF EN 12350-8.



Figure II.13: Mesure de l'étalement du béton de sable fluide.

.

II.4.2. Etat durci

II.4.2.1. Essais de Compression

La résistance à la Compression a été mesurée selon la norme **[NF EN 196-1**] par Compression axiale pour demi-prisme d'éprouvettes prismatiques de dimensions 4×4×16 cm, à 7, 28 jours, à l'aide d'une presse hydraulique de capacité maximale de 2000 kN conforme à la norme [**NF P 18-412**]

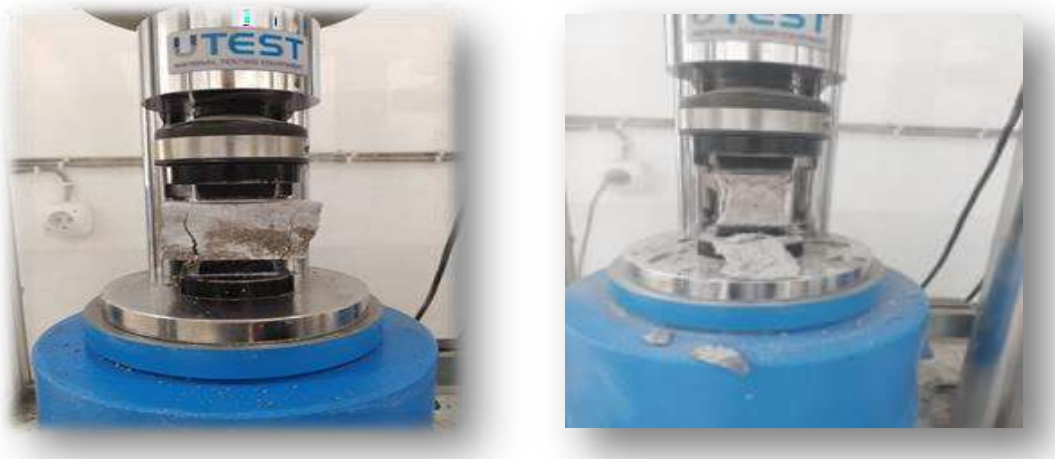


Figure II.14: Dispositif de mesure de la résistance à la Compression.

II.4.2.2. Essais de Flexion

À l´âge requis, les éprouvettes sont brisées par Flexion en deux moitiés selon la norme [**EN 196-1**]. C'est l'essai le plus couramment utilisé. Il consiste à rompre en Flexion (Par trois points), une éprouvette prismatique **(4x4x16)** cm de côté **a** et de longueur **L**.



Figure II.15: Dispositif de mesure de la résistance à la traction.

II.4.2.3. Conductivité thermique

De nombreuses méthodes sont utilisées pour mesurer la conductivité thermique des matériaux. Ces méthodes consistent à soumettre l'échantillon à un flux thermique et mesurer par la suite soit un profil de température soit un flux de chaleur. Dans notre cas Les Propriétés thermiques des déférents mélanges ont été mesurés à l'aide d'un CT Mètre conformément la norme ISO 8497-1

Le CT METRE Norme de référence NF EN 993-15

C'est un appareil aisément transportable, a été élaboré dans le but de permettre d'évaluer avec précision, les caractéristiques de résistance thermique d'un certain nombre de matériaux tels que la brique, les roches, le bitume et le béton.

Le CT-mètre se compose de deux éléments qui sont l'organe de commande, chargé de générer la puissance de chauffe et d'interpréter la courbe d'élévation de température induite dans le matériau à tester et la sonde chargée de transmettre la puissance de chauffe et de recueillir la température induite.



Figure II.16: Dispositif pour l'essai de la conductivité thermique.

II.4.2.4. Essai ultrasonique

Avant de procéder aux essais à l'ultrason, on a pris le soin de vérifier le bon fonctionnement par étalonnage de l'appareil en utilisant le barreau de calibrage pour chaque éprouvette. Les essais à l'ultrason ont été effectués en deux sens selon la méthode par transmission directe de telle façon que le sens de mesure du temps de transit soit perpendiculaire au sens de confection. Sur les faces opposées de l'éprouvette on a placé les deux transducteurs en interposant entre eux une couche mince de vaseline, puis l'enregistrement du temps de transit en micro seconde est réalisé. La figure 19 montre les étapes de l'essai. NF EN 12504-4.



Figure II.17: Etalonnage et mesure du temps de parcours des ondes ultrasonores.

II.4.2.5. La densité apparente à l'état durci

La densité est déterminée en plaçant l'éprouvette de béton à l'état durci sur une balance afin de mesurer sa masse, conformément à la norme NF EN 206/CN.



Figure II.18: densité apparente à l'état durci.

II.4.2.6. La porosité accessible à l'eau

La porosité accessible à l'eau du matériau peut être déterminée par pesé hydrostatique.

Les essais de porosité accessible à l'eau sont effectués selon le mode opératoire AFPC-AFREM [AFPC,1997] sur des éprouvettes de béton, et placées dans un dessiccateur sous vide pendant 4 heures, elles sont ensuite saturées dans l'eau sous vide pendant une durée de 24 h ,les échantillons sont soumis à une pesé hydrostatique qui permettra d'évaluer leur masse (Meau) et à une pesée dans l'air qui est assimilée à la masse saturé en eau (Mair)après avoir essuyé leur surface ,les échantillons sont placés dans une étuve , la masse finale obtenue (Msec)correspond à un état sec du matériau . **NF P18-459**.

La porosité accessible à l'eau calculée par l'équation :

$$\varepsilon\% = \frac{(\text{Mair} - \text{Msec})}{(\text{Mair} - \text{Meau})}$$

Avec

ε : La porosité accessible à l'eau en %

Mair : la masse de l'éprouvette saturée d'eau pesée dans l'air (en g)

Meau : la masse de l'éprouvette saturée d'eau pesée dans l'eau (en g)

Msec : la masse de l'éprouvette sèche pesée dans l'air (en g)



Figure II.19: Essai de Porosité accessible à l'eau.

II.4.2.7. Absorption d'eau par immersion

L'absorption d'eau par immersion est une mesure importante des propriétés d'un matériau cimentaire, indiquant sa porosité et sa capacité à retenir l'eau. Ce test consiste à immerger des échantillons de béton durci dans l'eau et à mesurer l'augmentation de masse due à l'absorption d'eau.

Les éprouvettes de béton sont d'abord séchées à l'étuve jusqu'à atteindre une masse constante, puis refroidies à température ambiante. Elles sont ensuite immergées dans l'eau pendant une période définie, souvent 24 ou 48 heures, pour permettre une absorption maximale de l'eau. Après l'immersion, les échantillons sont retirés, la surface est essuyée pour enlever l'excès d'eau, puis les éprouvettes sont pesées pour déterminer la masse saturée.

L'absorption d'eau par immersion est calculée en pourcentage selon la formule suivante :

$$A\% = \frac{(\mathrm{Msat} - \mathrm{Msec}) * 100}{\mathrm{Msec}}$$

Où :

Msat : est la masse de l'éprouvette après immersion (en g).

Msec : est la masse de l'éprouvette sèche (en g).

Cette méthode permet de déterminer la quantité d'eau que le béton peut absorber et est conforme à la norme **NF P18-554**. Cette norme spécifie les conditions et les procédures pour mesurer l'absorption d'eau par immersion des matériaux cimentaires, garantissant des résultats précis et reproductibles.



FigureII. 20: Essai absorption d'eau par immersion.

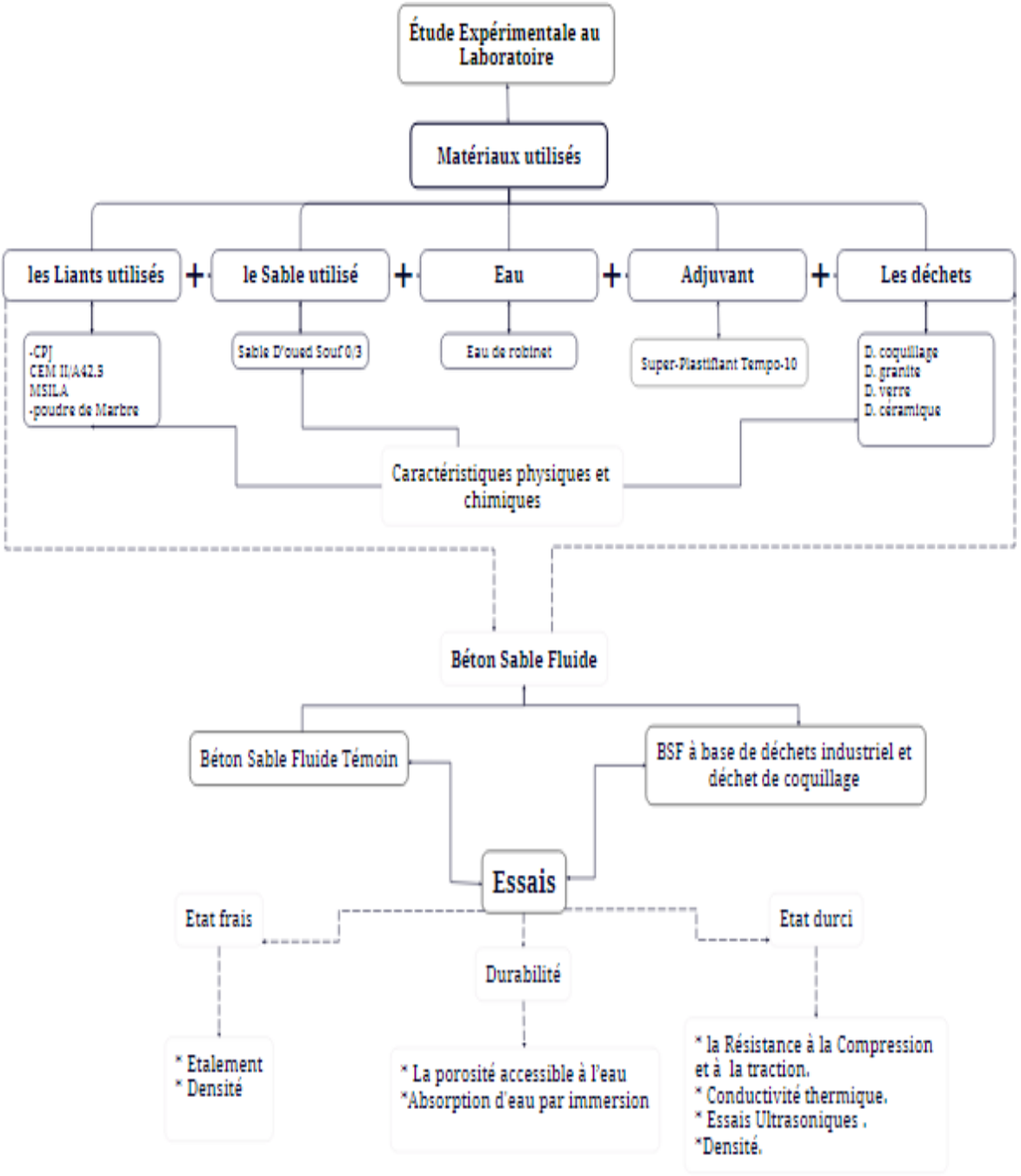


Figure II.21: protocole expérimental.

II.5. Conclusion

Dans notre recherche, nous avons utilisé des matériaux locaux disponibles sur le marché algérien, tels que le ciment, les granulats et les superplastifiants. Ces matériaux ont été sélectionnés pour leur disponibilité et leur pertinence dans le contexte de la construction en Algérie. Nous avons réalisé des essais importants pour déterminer les caractéristiques rhéologiques et physico-mécaniques des mélanges de béton de sable fluide.

Les essais réalisés comprenaient des mesures de la densité, de la porosité accessible à l'eau, de l'absorption d'eau par immersion, ainsi que des tests de résistance à la compression et à la traction. Ces essais ont permis de caractériser de manière détaillée les performances des mélanges de béton incorporant ces déchets, fournissant des données précieuses sur leur comportement.

Chapitre III

Résultats et interprétations

III.1. Introduction

Ce chapitre présente les résultats obtenus à partir des essais expérimentaux menés pour examiner l'impact de l'utilisation des déchets industriels (granite, verre et céramique) et des matériaux biosourcés (coquillages) dans la fabrication du béton de sable fluide (BSF). L'analyse se concentre sur les propriétés mécaniques et rhéologiques du BSF en utilisant des matériaux locaux. Les données sont structurées et présentées en fonction de l'âge du béton, du type d'essai réalisé et de la variété de béton étudiée. Cette organisation vise à faciliter la compréhension et l'exploitation pratique des résultats. La discussion qui suit cherche à interpréter ces résultats, en mettant en lumière les implications techniques et environnementales de l'intégration de ces matériaux recyclés dans le domaine de la construction. Ce chapitre vise non seulement à évaluer l'efficacité de ces matériaux alternatifs mais aussi à explorer les voies possibles pour l'amélioration des formulations de béton en termes de durabilité et de performance.

III.1.1. Impact des déchets solides sur les propriétés du béton à l'état frais

III.1.1.1.Etat frais

a) Étalement

Dans la section suivante, nous présentons et analysons le graphe d'étalement, qui illustre les variations de la fluidité du béton de sable fluide (BSF) en fonction des différents types de déchets utilisés dans le mélange. Ce graphe est crucial pour comprendre comment l'intégration de déchets industriels et biosourcés influence la maniabilité et les propriétés rhéologiques du béton, facilitant ainsi l'évaluation de son applicabilité dans des conditions de chantier réelles.

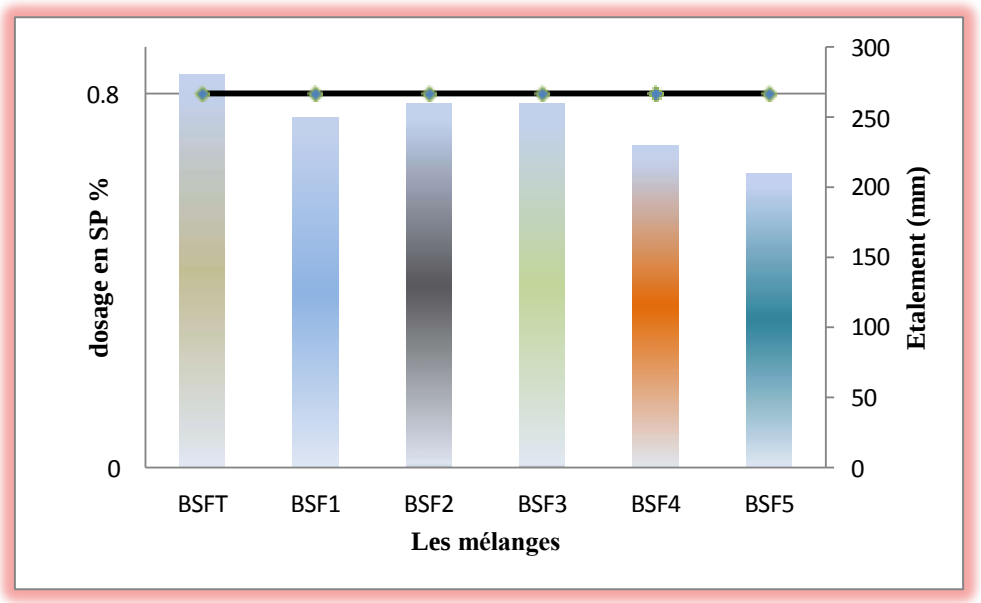


Figure III.1: Influence des déchets sur la fluidité de BSF avec un dosage en SP de 0.8%.

L'analyse des différents mélanges de béton de sable fluide (BSF) révèle comment l'incorporation de divers déchets affecte la maniabilité et les propriétés de fluidité du béton. Le mélange de contrôle, BSFT, sans ajout de déchets, présente un étalement maximal, optimisé pour une bonne maniabilité. Cependant, lorsque des déchets sont incorporés, on observe une réduction de l'étalement, reflétant l'influence de la texture, de la granulométrie et de la nature absorbante des déchets sur la matrice du béton. Le mélange BSF1, utilisant des déchets de coquillage, montre une réduction de l'étalement de 10,7 % par rapport au témoin. Cette diminution s'explique par la forme irrégulière et la texture plus grossière des coquillages, qui affectent négativement la maniabilité du béton. De même, BSF2, avec des déchets de granite, affiche une réduction de l'étalement de 7,1 % par rapport au témoin. Le granite, en raison de sa surface potentiellement plus rugueuse, ne contribue pas à améliorer la fluidité du mélange. Le mélange BSF3, contenant des déchets de verre, présente également une réduction de l'étalement de 7,1 % par rapport au témoin. Bien que le verre soit lisse, il peut créer des interactions spécifiques avec la matrice cimentaire, augmentant la viscosité du mélange et réduisant la fluidité. BSF4, incorporant des déchets de céramique, montre une réduction significative de l'étalement de 17,9 % par rapport au témoin. Les déchets de céramique, souvent poreux et irréguliers, absorbent plus d'eau de mélange et augmentent la résistance interne au mouvement, diminuant ainsi l'étalement.Enfin, le mélange BSF5, qui combine différents types de déchets, affiche la plus forte réduction de l'étalement, avec une diminution de 25 % par rapport au témoin. La combinaison de divers déchets entraîne une complexité accrue dans les interactions entre les particules, augmentant la friction interne et réduisant la fluidité globale du béton.

- Ces variations dans l'étalement, malgré un dosage constant de superplastifiant, soulignent l'importance de comprendre l'influence spécifique des déchets sur les propriétés du béton. Optimiser les formulations de béton de sable fluide pour leur application dans des conditions de construction réelles nécessite une attention particulière à la maniabilité et à la facilité de mise en œuvre, essentielles pour des performances optimales.
- Pour obtenir un étalement fixe et optimal pour chaque type de béton, il peut être nécessaire d'augmenter le dosage de superplastifiant en fonction des besoins spécifiques de chaque mélange. Le graphique ci-dessous illustre cette nécessité et montre comment ajuster les dosages pour maintenir une fluidité constante.

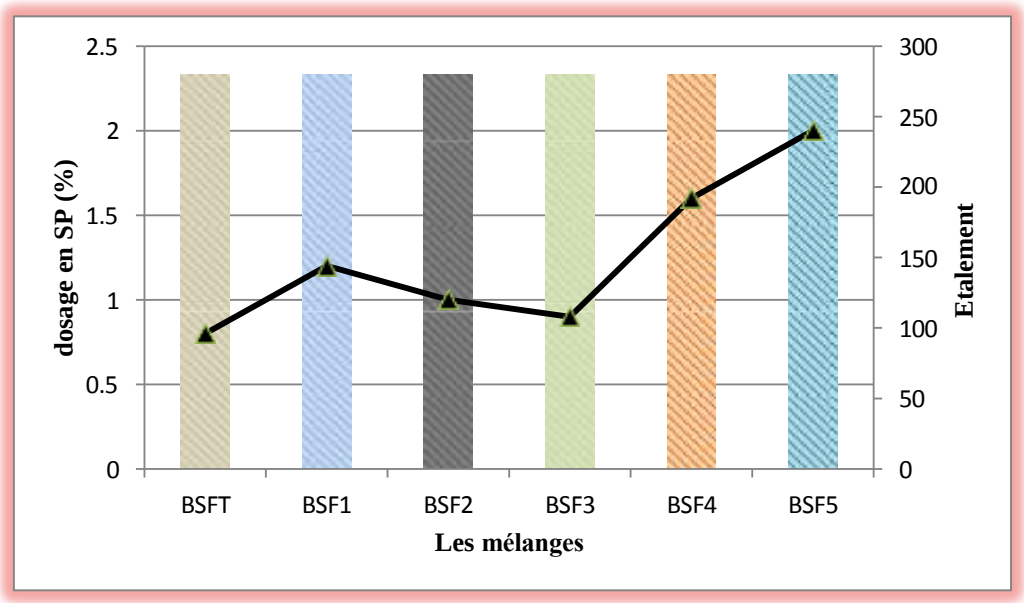


Figure III.2: Dosage de super-plastifiant en de différents types du béton.

- Tous les mélanges de déchets nécessitent une augmentation du dosage en superplastifiant pour atteindre l'étalement de référence de 280 mm. Ces résultats montrent que chaque type de déchet influence différemment la maniabilité du béton, nécessitant des ajustements spécifiques du dosage en superplastifiant pour maintenir les propriétés de fluidité optimales. La compréhension de ces variations est essentielle pour optimiser les formulations de béton de sable fluide en fonction des matériaux disponibles et des exigences spécifiques des projets de construction.

III.1.1.2. Etat durci

a) La Résistance à la Compression

Le graphique illustre la résistance à la Compression de différents mélanges de béton de sable fluide (BSF), de BSF0 à BSF5, mesurée en (MPa).

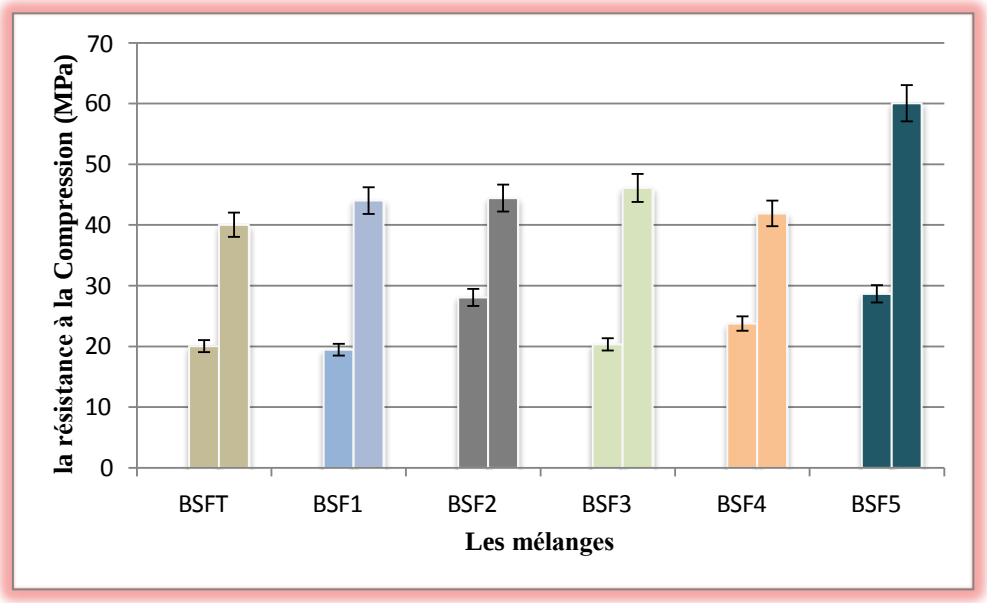


Figure III.3: La résistance à la Compression de BSF à base des déchets solides.

L'analyse des différents mélanges de béton de sable fluide (BSF) révèle des variations significatives dans les résistances à la Compression, tant initiales qu'à long terme, en fonction des types de déchets utilisés en substitution partielle du sable. Le mélange de contrôle (BSFT) sert de référence pour évaluer les performances des mélanges contenant des déchets. Le mélange BSF1, contenant des déchets de coquillage, montre une légère réduction de la résistance initiale de 2,9 % par rapport au témoin, mais affiche une amélioration notable de la résistance à long terme de 10 %. Cela suggère que les coquillages, bien qu'ils ralentissent le gain de résistance initial, offrent une résistance adéquate sur le long terme. Le mélange BSF2, incorporant des déchets de granite, présente une amélioration significative de la résistance, avec une augmentation de 40 % de la résistance initiale et de 11 % de la résistance à long terme par rapport au témoin. Ces résultats démontrent l'efficacité du granite pour renforcer la résistance mécanique du béton, le rendant particulièrement utile pour des structures exigeant une haute performance en résistance à la Compression. Le mélange BSF3, utilisant des déchets de verre, montre une légère augmentation de la résistance initiale de 1,5 % par rapport au témoin et une amélioration progressive de la résistance à long terme de 15,2 %. Ces résultats indiquent que les conditions spécifiques de ce mélange ont été bien gérées, exploitant les propriétés positives du verre pour améliorer la résistance du béton.

Le mélange BSF4, contenant des déchets de céramique, affiche une amélioration notable de la résistance initiale de 18,5 %, bien que la résistance à long terme soit légèrement supérieure de 5,3 % par rapport au témoin. Cela montre que les déchets de céramique peuvent efficacement contribuer à la matrice de béton pour offrir une bonne résistance, .Enfin, le mélange BSF5, combinant différents types de déchets (coquillages, granite, verre et céramique), présente les meilleurs résultats avec une amélioration significative de la résistance initiale de 43 % et de la résistance à long terme de 50 % par rapport au témoin. La synergie entre les différents déchets non seulement neutralise les éventuels effets négatifs de certains déchets, mais amplifie aussi leurs propriétés bénéfiques.

b) La Résistance à la Flexion

Le graphique montre la Résistance à la Flexion (en MPa) de différents mélanges de béton de sable fluide (BSF), comprenant un mélange de contrôle (FSC0) et des mélanges incorporant divers déchets (FSC1 à FSC5).

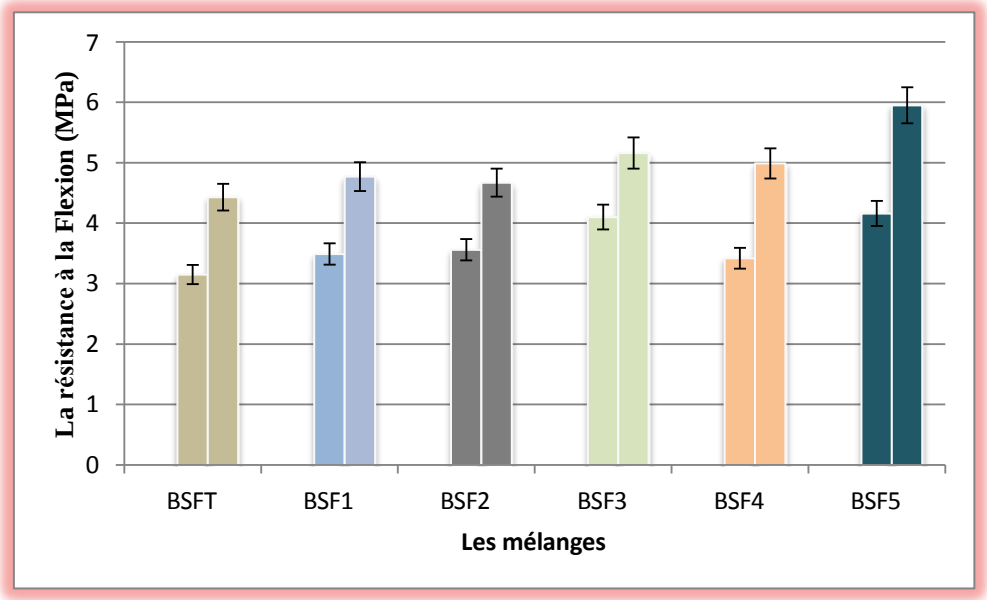


Figure III.4: La Résistance à la Flexion de BSF à base des déchets solides.

L'analyse des différents mélanges de béton de sable fluide (FSC) révèle des améliorations notables de la résistance à la Flexion en utilisant divers déchets comme substituts partiels du sable, par rapport au mélange de contrôle (FSCT). Le mélange de contrôle affiche une augmentation modérée de la résistance à la Flexion entre 7 et 28 jours, caractéristique d'un béton standard sans ajout de déchets. Le mélange FSC1, contenant des déchets de coquillage, améliore légèrement la résistance à la Flexion par rapport au contrôle, avec une augmentation de 11 % à 7 jours et de 8 % à 28 jours. Cette amélioration, bien que modeste, montre que les coquillages peuvent renforcer le squelette de béton. Le mélange FSC2, incorporant des déchets de granite, montre une augmentation similaire à celle des coquillages, avec une

amélioration de 13 % à 7 jours et de 5 % à 28 jours par rapport au contrôle. Le granite semble avoir un effet bénéfique comparable sur la résistance à la Flexion du béton. Le mélange FSC3, utilisant des déchets de verre, présente une amélioration significative de la résistance à la Flexion, avec une augmentation de 30 % à 7 jours et de 16 % à 28 jours par rapport au contrôle. Ces résultats indiquent que le verre peut renforcer efficacement le béton, améliorant considérablement ses propriétés mécaniques. Le mélange FSC4, contenant des déchets de céramique, augmente la résistance à la Flexion de manière significative, avec une amélioration de 9 % à 7 jours et de 13 % à 28 jours par rapport au contrôle. Bien que l'augmentation soit moins marquée à 7 jours, la céramique contribue efficacement à long terme. Enfin, le mélange FSC5, combinant différents types de déchets, montre la meilleure amélioration de la résistance à la Flexion, avec une augmentation de 32 % à 7 jours et de 34 % à 28 jours par rapport au contrôle. La synergie entre les différents déchets optimise les propriétés mécaniques du béton, offrant les meilleurs résultats parmi tous les mélanges testés. Tous les mélanges incorporant des déchets montrent une résistance à la Flexion supérieure à celle du mélange de contrôle à 28 jours, indiquant que l'utilisation de déchets peut renforcer le béton de manière significative, en optimisant ses performances mécaniques et en favorisant une utilisation durable des matériaux recyclés.

c) La densité apparente à l'état durci

Le graphique montre la densité apparente (en kg/m³) des différents mélanges de béton de sable fluide (BSF), comprenant un mélange de contrôle (BSFT) et des mélanges incorporant divers déchets (BSF1 à BSF5).

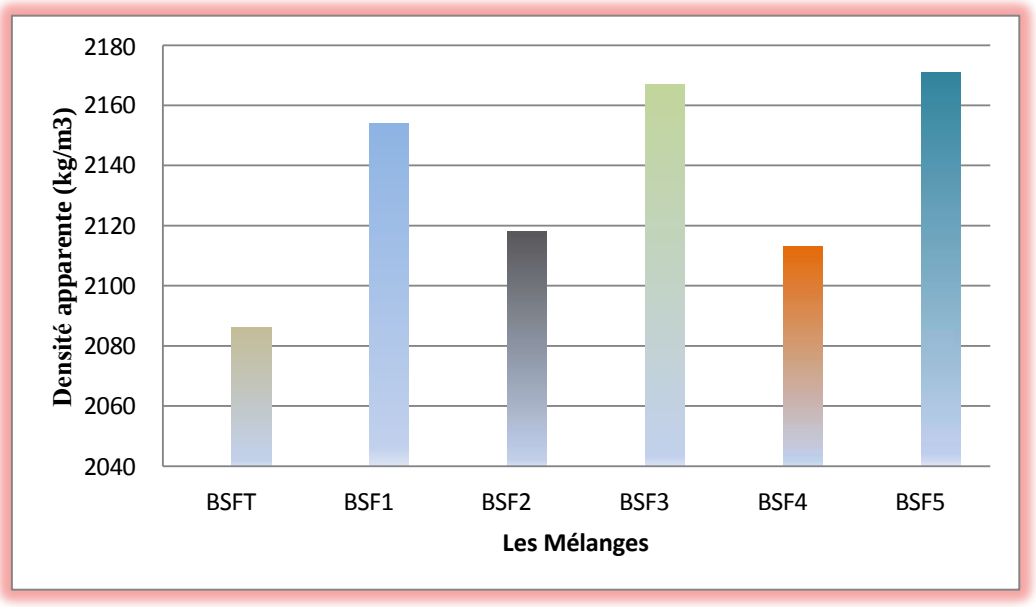


Figure III.5: la Densité de BSF à base de déchets solides.

L'analyse des différents mélanges de béton de sable fluide (BSF) révèle des variations significatives de la densité apparente en fonction des types de déchets utilisés en substitution partielle du sable, par rapport au mélange de contrôle (BSFT). Le mélange de contrôle présente une densité relativement basse, caractéristique d'un béton standard sans ajout de matériaux supplémentaires. L'ajout de coquillages (BSF1) augmente la densité apparente du béton, probablement en raison de la nature plus dense des coquillages par rapport au sable traditionnel. De même, l'incorporation de déchets de granite (BSF2) contribue à une augmentation de la densité du béton, bien que cet effet soit moins marqué que pour certains autres déchets. Les déchets de verre (BSF3) augmentent significativement la densité apparente du béton, La céramique (BSF4) contribue également à une augmentation de la densité du béton, avec un effet similaire à celui du granite. Enfin, la combinaison de divers déchets (BSF5) produit le béton le plus dense parmi tous les mélanges testés. Cela suggère que la synergie entre les différents matériaux conduit à une meilleure compacité et à une réduction des vides internes. Cette étude démontre que l'utilisation de déchets comme substituts partiels du sable peut non seulement améliorer la densité du béton, mais aussi offrir des avantages supplémentaires en termes de compacité et de réduction des vides, favorisant ainsi des propriétés mécaniques optimisées.

d) La conductivité thermique

Le graphique montre la conductivité thermique (en W/m·K) des différents mélanges de béton de sable fluide (BSF), incluant un mélange de contrôle (BSFT) et des mélanges incorporant divers déchets (BSF1 à BSF5) en substitution du sable.

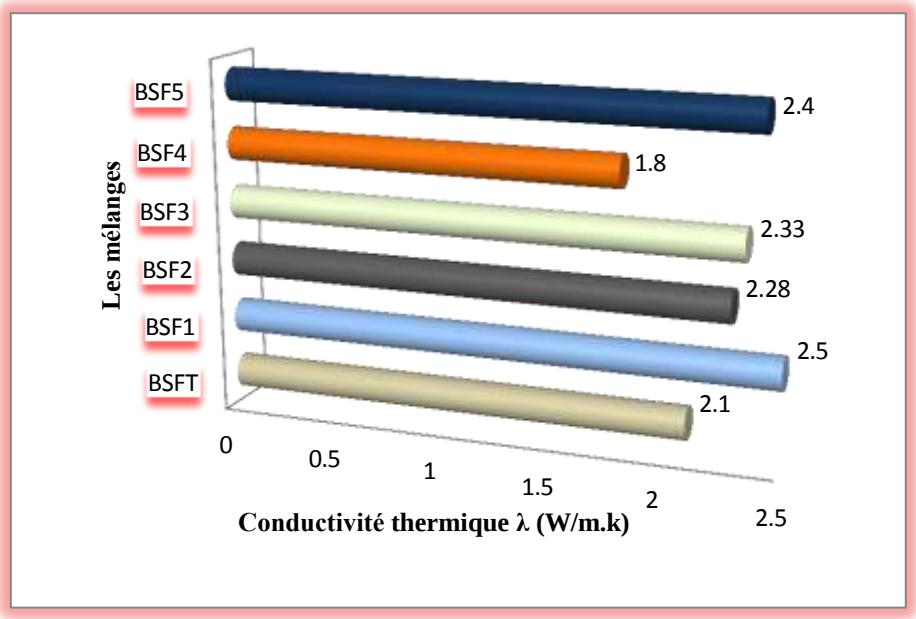


Figure III.6: Conductivité thermique des Bétons de sable à base des déchets solides.

L'analyse des différents mélanges de béton de sable fluide (BSF) révèle des variations significatives de la conductivité thermique en fonction des types de déchets utilisés en substitution partielle du sable, par rapport au mélange de contrôle (BSFT). Le mélange de

contrôle présente une conductivité thermique modérée de 2,1 W/m·K, typique pour un béton standard sans ajout de déchets. Le mélange BSF1, contenant des déchets de coquillage, affiche une conductivité thermique de 2,5 W/m·K, supérieure à celle du témoin. Cela suggère que les coquillages augmentent la conductivité thermique, probablement en raison de leur nature qui, malgré une bonne compaction, pourrait ne pas offrir une isolation thermique optimale. Le mélange BSF2, incorporant des déchets de granite, montre une conductivité thermique de 2,28 W/m·K, légèrement supérieure à celle du témoin. Le granite, bien que dense, semble disperser la chaleur mieux que le béton témoin, mais reste plus conductif que certains autres matériaux comme la céramique. Le mélange BSF3, utilisant des déchets de verre, présente une conductivité thermique de 2,33 W/m·K, également légèrement supérieure à celle du témoin. Bien que le verre soit utilisé comme agrégat, sa conductivité thermique intrinsèque reste relativement élevée. Le mélange BSF4, contenant des déchets de céramique, affiche la conductivité thermique la plus basse de 1,8 W/m·K, inférieure à celle du témoin. La céramique réduit significativement la conductivité thermique grâce à ses excellentes propriétés isolantes. Enfin, le mélange BSF5, combinant différents types de déchets, présente une conductivité thermique de 2,4 W/m·K, supérieure à celle du témoin mais inférieure à celle du mélange avec des coquillages. La combinaison de divers déchets offre une bonne compaction et réduit les ponts thermiques, mais l'effet combiné ne réduit pas la conductivité thermique autant que certains matériaux individuels, comme la céramique. Ainsi, l'utilisation de céramique (BSF4) se révèle être la plus efficace pour réduire la conductivité thermique, tandis que les autres matériaux montrent des augmentations diverses par rapport au témoin.

e) La Vitesse ultrasonique

Le graphique montre la vitesse ultrasonique (en m/s) des différents mélanges de béton de sable fluide (BSF), incluant un mélange de contrôle (BSFT) et des mélanges incorporant divers déchets (BSF1 à BSF5) en substitution du sable.

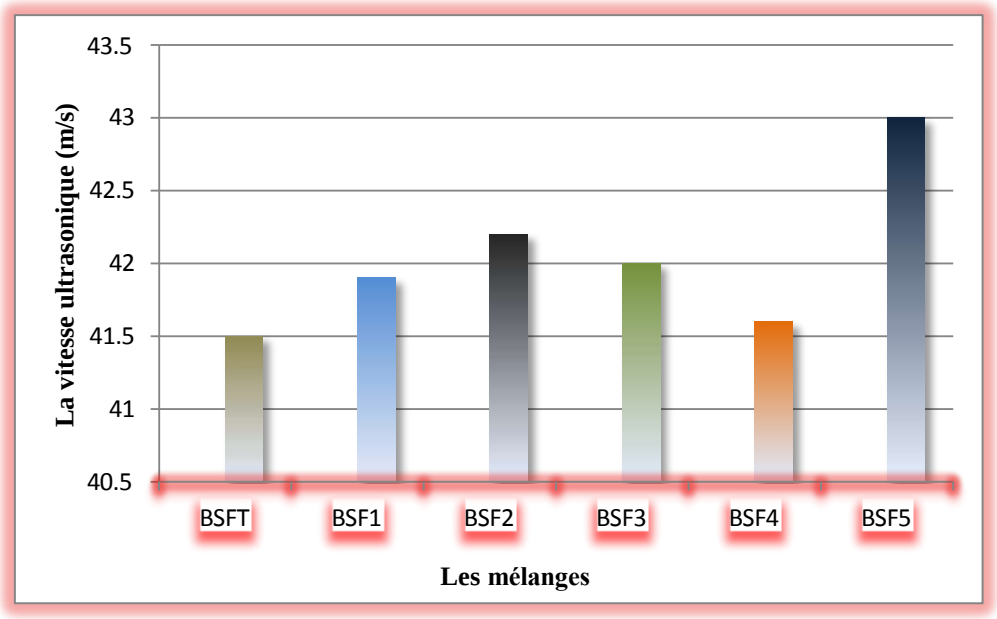


Figure III.7: Essai de vitesse ultrasonique.

L'analyse du graphique montre que la vitesse ultrasonique (VUS) varie selon les différents mélanges de béton de sable fluide (BSF), indiquant des différences dans la compacité et la densité du béton. Le béton témoin (BSFT) a une VUS de 41,5 m/s, servant de référence. Le mélange BSF1 (sable de coquillage) montre une VUS de 41,9 m/s, soit une amélioration de 0,96 % par rapport au témoin. Le mélange BSF2 (sable de granite) affiche une VUS de 42,1 m/s, une augmentation de 1,45 %. Le mélange BSF3 (sable de verre) présente une VUS de 42,0 m/s, une amélioration de 1,20 %. Le mélange BSF4 (sable de céramique) montre une VUS de 41,8 m/s, soit une augmentation de 0,72 %. Enfin, le mélange BSF5 (combinaison de divers sables) affiche la VUS la plus élevée de 43,0 m/s, représentant une amélioration de 3,61 % par rapport au témoin. Ces résultats indiquent que tous les mélanges améliorent la compacité et la densité du béton par rapport au témoin, avec le mélange BSF5 offrant les meilleures performances, suivi de près par les mélanges BSF2 et BSF3.

- Interprétation globale :

La tendance générale montre que l'ajout de différents types de sable au béton améliore progressivement les propriétés mesurées, avec la combinaison de sables (BSF5) offrant la meilleure performance. Chaque type de sable spécifique (coquillage, granite, verre, céramique) montre une amélioration incrémentale par rapport au précédent, indiquant une augmentation progressive des propriétés favorables du béton. Ces résultats suggèrent que l'incorporation de matériaux alternatifs dans le béton peut améliorer ses propriétés et qu'une combinaison de ces matériaux peut offrir les meilleures performances globales. Cela ouvre la voie à une utilisation plus large de matériaux recyclés et alternatifs pour améliorer les performances et la durabilité des bétons utilisés dans l'industrie de la construction.

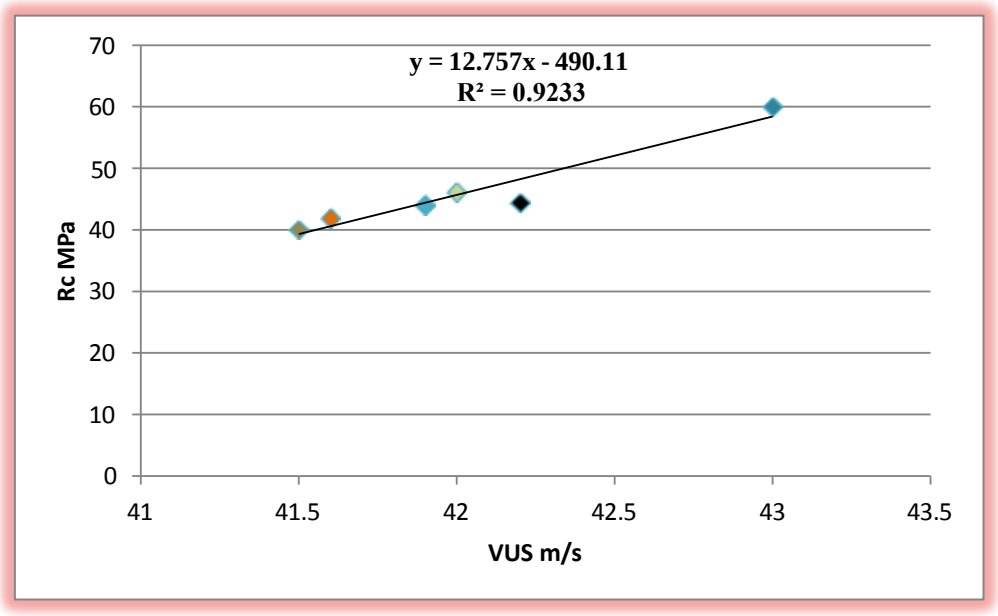


Figure III.8: Relation entre la Résistance à la Compression (RC) et la vitesse ultrasonique des Mélanges de Béton.

Les résultats montrent une corrélation significative entre la vitesse ultrasonique et la résistance mécanique du béton avec différents types de sable. La relation positive suggère que des vitesses ultrasoniques plus élevées sont associées à des résistances mécaniques plus élevées, ce qui pourrait être utilisé pour estimer la qualité et la résistance du béton de manière non destructive.

f) La porosité accessible à l'eau

Le graphique montre la porosité (%) de différents mélanges de béton (BSF0 à BSF5).

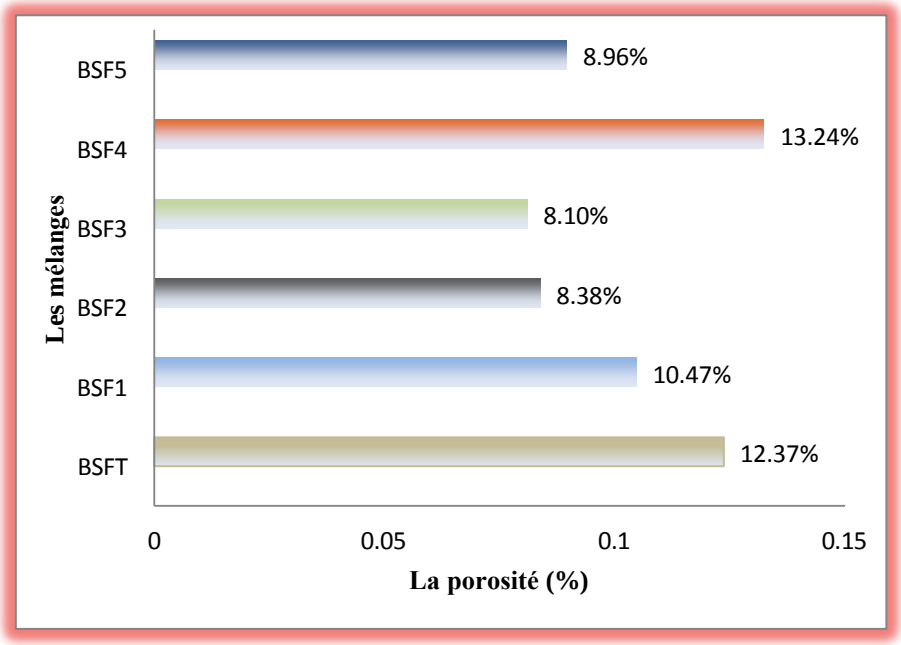


Figure III.9: Essai de la porosité accessible à l'eau.

L'analyse de la porosité des différents mélanges de béton de sable fluide (BSF) révèle des variations notables en fonction des types de sable utilisés en substitution partielle du sable traditionnel, par rapport au mélange de contrôle (BSF0). Le béton témoin présente une porosité de 12,37 %, servant de base de comparaison pour évaluer l'effet des différents types de sable. L'utilisation de sable de coquillage (BSF1) réduit la porosité à 10,47 %, indiquant une amélioration par rapport au béton témoin. Le sable de granite (BSF2) est encore plus efficace, avec une porosité réduite à 8,38 %, suggérant une amélioration significative des propriétés du béton en termes de réduction de la porosité. De même, le sable de verre (BSF3) montre une performance similaire, avec une porosité légèrement réduite à 8,10 %, confirmant son efficacité pour réduire la porosité du béton. En revanche, l'utilisation de sable de céramique (BSF4) entraîne une augmentation de la porosité à 13,24 %, supérieure à celle du béton témoin, indiquant que ce type de sable peut augmenter la porosité du béton, probablement en raison d'une structure plus poreuse ou d'une interaction différente avec la

matrice de béton. La combinaison de différents types de sable (BSF5) montre une porosité de 8,96 %, ce qui représente une réduction significative par rapport au béton témoin, mais légèrement supérieure à celle des mélanges utilisant uniquement du sable de granite ou de verre.

- En résumé, les mélanges BSF2 (sable de granite) et BSF3 (sable de verre) montrent les plus faibles porosités, suggérant qu'ils sont les plus efficaces pour réduire la porosité du béton. À l'inverse, le mélange BSF4 (sable de céramique) augmente la porosité par rapport au béton témoin, indiquant une structure plus poreuse. Ces résultats mettent en évidence l'impact des différents types de sable sur la porosité du béton, avec des implications importantes pour la durabilité et les performances mécaniques des matériaux de construction.

g) Absorption par immersion

Le graphique montre les pourcentages d'absorption par immersion pour différents mélanges de béton (BSF0 à BSF5). Voici une interprétation détaillée de ces valeurs :

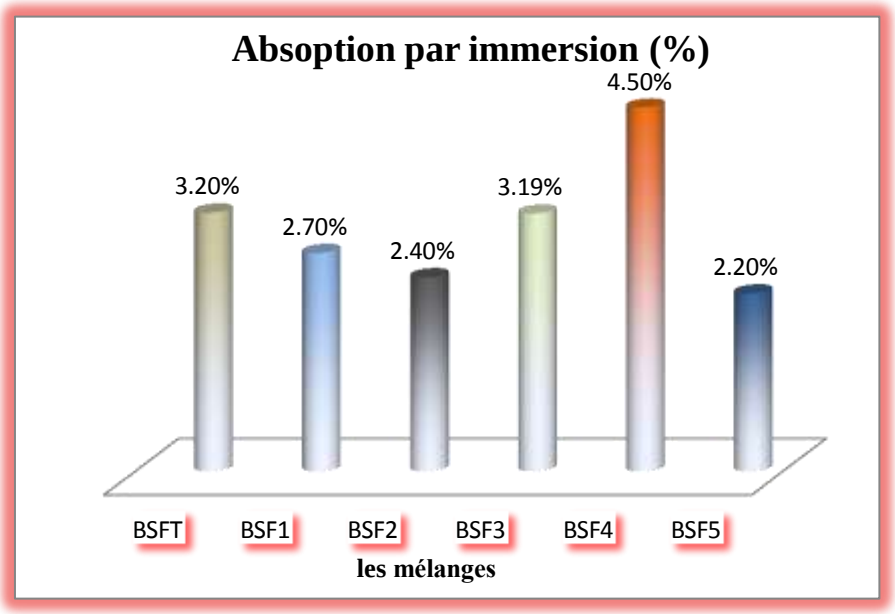


Figure III.10: Absorption d'eau des BSF à base de déchets solides.

L'analyse des différents mélanges de béton de sable fluide (BSF) révèle des variations significatives dans l'absorption par immersion en fonction des types de sable utilisés en substitution partielle du sable traditionnel, par rapport au mélange de contrôle (BSFT). Le béton témoin présente une absorption par immersion de 3,20 %. L'utilisation de sable de coquillage (BSF1) réduit l'absorption par immersion à 2,70 %, ce qui représente une

amélioration par rapport au béton témoin. Le sable de granite (BSF2) est encore plus efficace, avec une absorption réduite à 2,40 %. Cependant, le sable de verre (BSF3) montre une absorption par immersion presque identique à celle du béton témoin, à 3,19 %. Le mélange utilisant du sable de céramique (BSF4) augmente considérablement l'absorption par immersion à 4,50 %, indiquant une porosité plus élevée ou une interaction différente avec l'eau, ce qui pourrait ne pas être idéal pour les applications nécessitant une faible absorption d'eau. En revanche, la combinaison de différents types de sable (BSF5) offre la meilleure performance, avec l'absorption par immersion la plus faible de 2,20 %. En résumé, les mélanges BSF1 (sable de coquillage), BSF2 (sable de granite) et BSF5 (combinaison) montrent une réduction de l'absorption par immersion par rapport au béton témoin. Cela suggère que ces types de sable peuvent améliorer la résistance à la pénétration de l'eau et potentiellement augmenter la durabilité du béton. Le mélange BSF4 (sable de céramique), quant à lui, montre une augmentation significative de l'absorption par immersion, ce qui pourrait indiquer une porosité accrue ou une capacité d'absorption plus élevée de l'eau, rendant ce type de sable moins idéal pour les applications nécessitant une faible absorption d'eau.

- Ces résultats peuvent guider le choix des matériaux pour des applications spécifiques du béton, en fonction de la nécessité de réduire l'absorption d'eau. Les types de sable comme le sable de coquillage, le sable de granite et les combinaisons de sables montrent une meilleure performance par rapport au sable de céramique en termes d'absorption par immersion.

III.2. Conclusion

L'intégration de déchets industriels et biosourcés dans la fabrication du béton de sable fluide (BSF) a un impact significatif sur ses propriétés mécaniques et rhéologiques. Les résultats montrent que :

- Maniabilité et Fluidité : Tous les mélanges nécessitent une augmentation du superplastifiant, avec des réductions d'étalement de 25 % à 17.9 % par rapport au béton témoin.
- Résistance à la Compression et à la Flexion : Les mélanges avec des déchets améliorent notablement la résistance mécanique, BSF5 offrant les meilleures performances globales.
- Densité Apparente : BSF5 montre la densité la plus élevée, indiquant une meilleure compacité.
- Conductivité Thermique : La céramique (BSF4) est la plus efficace pour réduire la conductivité thermique.
- Porosité et Absorption d'Eau : BSF2 et BSF3 réduisent significativement la porosité, tandis que BSF5 montre la meilleure résistance à l'absorption d'eau.
- Vitesse Ultrasonique (VUS) : Il existe une corrélation positive entre la VUS et la résistance mécanique, avec BSF5 offrant les meilleures performances.

En conclusion, l'utilisation de ces déchets améliore les propriétés du béton et contribue à une gestion plus durable des ressources naturelles, avec BSF5 démontrant les meilleures performances globales.

Conclusion générale

Conclusion général

La présente recherche s'est attachée à explorer l'intégration de divers types de déchets industriels dans la fabrication de bétons et de mortiers de ciment, dans le but de répondre aux défis environnementaux, économiques et sociaux liés à la gestion des déchets. En utilisant des résidus de coquillages, de granite, de verre et de céramique comme ajouts minéraux ou granulats fins, ce travail a démontré que ces matériaux recyclés peuvent améliorer significativement les propriétés des matériaux cimentaires à l'état frais et durci.

Les résultats obtenus ont montré que les bétons enrichis en déchets présentent des performances comparables, voire supérieures, aux bétons traditionnels. Les différentes formulations ont permis de réduire la porosité, d'améliorer la résistance à la compression et de diminuer l'absorption d'eau. Ces améliorations sont cruciales pour le développement de matériaux de construction plus durables et performants.

L'étude a également mis en évidence l'importance de valoriser les ressources locales sous-utilisées, contribuant ainsi à une gestion plus efficace des déchets industriels. En substituant partiellement les sables naturels par des déchets recyclés, il est possible de réduire l'impact environnemental de la production de béton tout en offrant des solutions innovantes pour l'industrie de la construction.

En conclusion, cette recherche ouvre la voie à de nouvelles applications pour les déchets industriels, en intégrant ces matériaux dans des formulations de béton à haute performance. Les implications de ces travaux sont vastes, allant de la réduction des coûts de production à l'amélioration de la durabilité des infrastructures, tout en répondant aux exigences croissantes en matière de construction écologique et durable. Ces résultats encouragent la poursuite des recherches dans ce domaine, afin de continuer à optimiser les formulations et à explorer de nouveaux types de déchets pouvant être intégrés dans les matériaux de construction.

Recommandations

Recommandations

- Optimisation des Formulations de Béton : Il est recommandé de continuer à explorer et à optimiser les formulations de béton de sable fluide (BSF) en utilisant divers déchets industriels et biosourcés. Les mélanges comme BSF5, qui combinent plusieurs types de déchets, montrent des performances supérieures et devraient être priorisés pour de futures études et applications.
- Augmentation du Dosage en Superplastifiant : Pour maintenir une fluidité optimale, il est essentiel d'ajuster le dosage en superplastifiant en fonction des spécificités de chaque mélange de déchets. Une étude plus approfondie des interactions entre différents types de déchets et le superplastifiant pourrait améliorer la maniabilité du béton.
- Applications Pratiques: Les mélanges présentant une haute résistance mécanique et une faible porosité, tels que BSF5 et BSF2, devraient être considérés pour des applications structurales exigeantes. Ces formulations peuvent offrir une durabilité accrue et une meilleure performance globale dans des conditions de construction réelles
- Réduction de la Conductivité Thermique: L'utilisation de déchets de céramique (BSF4) devrait être explorée davantage pour les applications nécessitant une isolation thermique efficace. La réduction de la conductivité thermique peut contribuer à améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments.
- Systèmes de Gestion des Déchets : Il est crucial de développer et d'améliorer les systèmes de gestion des déchets pour maximiser la collecte et le recyclage des matériaux industriels et biosourcés. Une collaboration entre les industries de la construction et de la gestion des déchets peut créer des synergies bénéfiques.
- Sensibilisation et Formation: Il est recommandé de promouvoir la sensibilisation et la formation des professionnels de la construction sur les avantages et les techniques d'utilisation des matériaux recyclés. Des programmes de formation continue peuvent aider à intégrer ces pratiques dans les normes de construction actuelles.
- Normes et Réglementations: Encourager l'élaboration de normes et de réglementations qui favorisent l'utilisation de matériaux recyclés dans le secteur de la construction. Des politiques incitatives peuvent accélérer l'adoption de pratiques durables et écologiques.
- Recherche et Développement: Poursuivre les efforts de recherche pour comprendre les interactions complexes entre différents types de déchets et les matériaux de construction. Le financement de projets de recherche innovants peut conduire à des découvertes significatives et à des améliorations technologiques.

Annexes

Annexe (A)



ALGÉRIE

متين
Matine

LAFARGE
Construire
des villes meilleures



Ciment portland au Calcaire

NA442 CEM II/B-L 42,5 N

Matine Ciment gris pour bétons de haute-performance destiné à la construction des Ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour bâtiments

Matine
NA442 CEM II/B-L 42,5 N

Matine est certifié, conforme à la norme Algérienne (NA442 – 2013) et Européenne (EN 197-1)

AVANTAGES PRODUIT

- Une résistance initiale élevée pour vos ouvrages nécessitants un décoffrage rapide
- Favorise la maniabilité du béton et le maintien de sa rhéologie
- Une Classe Vraie qui offre une haute performance au béton.
- Meilleure durabilité du béton.

A member of LafargeHolcim

CONSIGNES DE SÉCURITÉ

1- **PROTÉGEZ VOTRE PEAU :** Portez les équipements adaptés dans vos chantiers: casques, lunettes, gants, genouillères, chaussures et vêtements de sécurité.

2- **MANUTENTION :** levez le sac en pliant les genoux et en gardant le dos droit.



A member of LafargeHolcim

LAFARGE ALGÉRIE
Centre commercial Bab Ezzouar, Tour n°02,
Etages 05 & 06, Bab Ezzouar Alger, Algérie
Tél: + 213 (0) 21 98 54 54
Fax: + 213 (0) 23 92 42 94
www.lafargealgerie.com
dz.satisfaction-clients@lafargeholcim.com
Tél: 021 55 55 98
Conditionnement : sac et vrac

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

• Analyses chimiques	Valeur
Perte au feu (%) (NA5042)	10.0±2
Teneur en sulfates (SO3) (%)	2.5±0.5
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1.7±0.5
Teneur en Chlorures(NA5042) (%)	0.02-0.05

• Temps de prise à 20° (NA 230)	Valeur
Début de prise (min)	150±30
Fin de prise (min)	230±50

• Composition minéralogique du Clinker (Bogue)	Valeur
C3S (%)	60±3
C3A (%)	7.5±1

• Résistance à la compression	Valeur
2 jours (MPa)	≥ 10.0
28 jours (MPa)	≥ 42.5

• Propriétés physiques	Valeur
Consistance Normale (%)	26.5±2.0
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm²/g) (NA231)	3 700 - 5 200
Retrait à 28 jours (µm/m)	< 1 000
Expansion (mm)	≤ 3.0

APPLICATIONS RECOMMANDÉES

- Construction des Ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour bâtiments
- Préfabrication légère
- Béton de haute performance



FORMULATION CONSEILLÉE

	Ciment (50kg)	Sable (sec) (0/5)	Gravillons (sec) (8/15mm + 15/25mm)		Eau (litres)
Dosage pour béton C25/30	X 1 (50kg) +	X7 +	X5 +	X4 +	25 L

Remaque: un bidon = 10 Litres

Annexe (B)

BUILDING TRUST

NOTICE PRODUIT

Sika® ViscoCrete® TEMPO-10

Superplastifiant/Haut réducteur d'eau de nouvelle génération polyvalent

INFORMATIONS SUR LE PRODUIT

Sika® ViscoCrete® TEMPO-10 est un superplastifiant/haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré, à base de copolymère acrylique.

DOMAINES D'APPLICATION

Sika® ViscoCrete® TEMPO-10 convient pour la confection de béton en préfabrication, béton sur chantier et béton prêt à l'emploi. Sika® ViscoCrete® TEMPO-10 est utilisé pour béton en cas de temps de transport ou délai de mise en oeuvre prolongés.
Sika® ViscoCrete® TEMPO-10 permet la fabrication des:

- Bétons plastiques à très fluides
- Bétons à faibles rapports E/C avec ou sans fumée de silice
- Bétons avec réduction d'eau maximale (jusqu'à 30 %)
- Bétons avec air entraîné

CARACTÉRISTIQUES / AVANTAGES

Sika® ViscoCrete® TEMPO-10 combine plusieurs mécanismes d'action. Par adsorption à la surface et le cloisonnement des fines pendant le processus d'hydratation les propriétés suivantes sont atteintes:

- Réduction d'eau extrêmement importante (donc étanchéité et résistances élevées)
- Fluidité élevée (donc moins de travail pour la mise en oeuvre et le compactage)
- Evolution plus rapide des résistances à court terme
- Etanchéité fortement améliorée
- Meilleures caractéristiques de fluage et de retrait
- Carbonatation du béton ralentie

Sika® ViscoCrete® TEMPO-10 ne contient ni chlorures ni autres substances susceptibles de provoquer ou de favoriser la corrosion de l'acier, et peut donc être utilisé sans restrictions pour la construction d'ouvrages en béton armé et précontraint.

AGRÉMENTS / NORMES

Sika® ViscoCrete® TEMPO-10 répond aux exigences de la norme NF EN 934-2 tableaux 1, 3.1 & 3.2.
PV CNERIB: DTEM 251/2016.

DESCRIPTION DU PRODUIT

Conditionnement	• Fût de 200 kg. • Cubi de 1100 kg.
Aspect / Couleur	Liquide brun clair.
Durée de Conservation	12 mois de la date de production si le produit est stocké correctement en emballage intact.
Conditions de Stockage	Dans un local fermé, à l'abri de l'ensoleillement direct et du gel, entre 5 et 30 °C. Sika® ViscoCrete® TEMPO-10 peut geler, mais une fois dégelé lentement et réhomogénéisé, il retrouve ses qualités d'origine. En cas de gel prolongé et intense, vérifier qu'il n'a pas été déstabilisé.
Densité	1.060 ± 0.010

Notice produit
Sika® ViscoCrete® TEMPO-10
Novembre 2021, Version 01.03
021301011000000108

Valeur pH	4.0 ± 1.0
Teneur Totale en Ions Chlorure	≤ 0.1 %
Équivalent Oxyde de Sodium	≤ 1 %

RENSEIGNEMENTS SUR L'APPLICATION

Dosage	Plage d'utilisation recommandée : 0,2 à 3% du poids de liant selon les performances recherchées. Dosage usuel : 0,4% à 1,5% du poids de liant.
Distribution	Sika® ViscoCrete® TEMPO-10 est ajouté, soit, en même temps que l'eau de gâchage, soit en différé dans le béton préalablement mouillé avec une fraction de l'eau de gâchage.

VALEURS DE BASE

Toutes les valeurs indiquées dans cette Notice Produit sont basées sur des essais effectués en laboratoire. Les valeurs effectives mesurées peuvent varier du fait de circonstances indépendantes de notre contrôle.

ÉCOLOGIE, SANTÉ ET SÉCURITÉ

Pour obtenir des informations et des conseils sur la manipulation, le stockage et l'élimination en toute sécurité des produits chimiques, les utilisateurs doivent consulter la fiche de données de sécurité (FDS) la plus récente contenant les données physiques, écologiques, toxicologiques et autres données relatives à la sécurité.

RESTRICTIONS LOCALES

Veuillez noter que du fait de réglementations locales spécifiques, les données déclarées pour ce produit peuvent varier d'un pays à l'autre. Veuillez consulter la Notice Produit locale pour les données exactes sur le produit.

INFORMATIONS LÉGALES

Les informations, et en particulier les recommandations concernant les modalités d'application et d'utilisation finale des produits Sika sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que Sika a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales, conformément aux recommandations de Sika. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou recommandations écrites, ou autre conseil donné, n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés, ni aucune garantie de conformité à un usage particulier, ni aucune responsabilité découlant de quelque relation juridique que ce soit. L'utilisateur du produit doit vérifier par un essai sur site l'adaptation du produit à l'application et à l'objectif envisagés. Sika se réserve le droit de modifier les propriétés de ses produits. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont soumises à nos conditions générales de vente et de livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la Notice Produit correspondant au produit concerné, accessible sur internet ou qui leur sera remise sur demande.

WPS Office

Sika El Djazair SPA
08 route de Larbaa
16111 Les Eucalyptus
ALGERIE
Tél.: 0 21 50 16 92 à 95
Fax: 0 21 50 22 08
dza.sika.com

Références bibliographique

Réferences bibliographique

[1] « Bioconversion of municipal solid waste into bio-based products.pdf ».

[2] B. T. Eddine et M. M. Salah, « Solid waste as renewable source of energy: current and future possibility in Algeria », *Int J Energy Environ Eng*, vol. 3, n° 1, p. 17, déc. 2012, doi: 10.1186/2251-6832-3-17.

[3] « Sand, gravel, and UN Sustainable Development Goals: Conflicts, synergies, and pathways forward », *One Earth*, vol. 4, n° 8, p. 1095‑1111, août 2021, doi: 10.1016/j.oneear.2021.07.008.

[4] T. Bouziani, M. Bederina, et M. Hadjoudja, « Effect of Dune Sand on the Properties of Flowing Sand-Concrete (FSC) », *International Journal of Concrete Structures and Materials*, vol. 6, mars 2012, doi: 10.1007/s40069-012-0006-z.

[5] « Guendouz 2019 Properties of flowable sand concrete containing.pdf ».

[6] M. Hadjadj, M. Guendouz, et D. Boukhelkhal, « The effect of using seashells as cementitious bio-material and granite industrial waste as fine aggregate on mechanical and durability properties of green flowable sand concrete », *Journal of Building Engineering*, vol. 87, p. 108968, juin 2024, doi: 10.1016/j.jobe.2024.108968.

[7] M. Abidi et M. Tennich, *CARACTÉRISATION EXPÉRIMENTALE DES BÉTONS A BASE DES GRANULATS RECYCLÉS ISSUS DES DECHETS DE DEMOLTION DES CONSTRUCTIONS*. 2023.

[8] « écologie De La Plage. Pollution Par Les Bouteilles En Plastique De La Plage De Coquillages Le Concept De L'environnement. Vide Uti Photo stock - Image du configuration, environnement: 233873242 », Dreamstime. Consulté le: 15 juin 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://fr.dreamstime.com/écologie-plage-pollution-les-bouteilles-en-plastique-coquillages-concept-l-environnement-vide-utilisé-sale-sales-image233873242

[9] « Properties of seashell aggregate concrete_ A review.pdf ».

[10] « La collecte des déchets de coquillages, grand succès en 2022, redémarre en Mayenne - France Bleu », ici par France Bleu et France 3. Consulté le: 15 juin 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://www.francebleu.fr/infos/environnement/la-collecte-des-dechets-de-coquillages-grand-succes-en-2022-redemarre-en-mayenne-2371008

[11] H. K. Alleway *et al.*, « Global principles for restorative aquaculture to foster aquaculture practices that benefit the environment », *Conservation Science and Practice*, vol. 5, n° 8, p. e12982, 2023, doi: 10.1111/csp2.12982.

[12] C. Martínez-García, B. González-Fonteboa, F. Martínez-Abella, et D. Carro- López, « Performance of mussel shell as aggregate in plain concrete », *Construction and Building Materials*, vol. 139, p. 570‑583, mai 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.09.091.

[13] B. Safi, M. Saidi, A. Daoui, A. Bellal, A. Mechekak, et K. Toumi, « The use of seashells as a fine aggregate (by sand substitution) in self-compacting mortar (SCM) », *Construction and Building Materials*, vol. 78, p. 430‑438, mars 2015, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.01.009.

[14] S.-E. Oh, S.-Y. Chung, K. Kim, et S.-H. Han, « Comparative analysis of the effects of waste shell aggregates on the material properties of cement mortars », *Construction and Building Materials*, vol. 412, p. 134887, janv. 2024, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2024.134887.

[15] H. Cuadrado-Rica, N. Sebaibi, M. Boutouil, et B. Boudart, « Properties of ordinary concretes incorporating crushed queen scallop shells », *Mater Struct*, vol. 49, n° 5, p. 1805‑1816, mai 2016, doi: 10.1617/s11527-015-0613-7.

[16] K. H. Mo, U. J. Alengaram, M. Z. Jumaat, S. C. Lee, W. I. Goh, et C. W. Yuen, « Recycling of seashell waste in concrete: A review », *Construction and Building Materials*, vol. 162, p. 751‑764, févr. 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.12.009.

[17] O. M. Olofinnade, J. U. Anwulidiunor, K. E. Ogundipe, et D. A. Ajimalofin, « Recycling of Periwinkle Shell Waste as Partial Substitute for Sand and Stone Dust in Lightweight Hollow Sandcrete Blocks towards Environmental Sustainability », *Materials*, vol. 16, n° 5, p. 1853, févr. 2023, doi: 10.3390/ma16051853.

[18] Z. Li, J. Lao, L. Wang, N. S. Lim, K. H. Tan, et S. Qian, « A review on substitution of natural sand with granite fines in sustainable concrete », *Construction and Building Materials*, vol. 346, p. 128417, sept. 2022, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2022.128417.

[19] K. K. Alzboon et K. N. Mahasneh, « Effect of Using Stone Cutting Waste on the Compression Strength and Slump Characteristics of Concrete », *International Journal of Civil and Environmental Engineering*, 2009.

[20] « Sustainability perspective of marble and granite residues as concrete fillers », *Construction and Building Materials*, vol. 45, p. 1‑10, août 2013, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.03.032.

[21] prof. Stjepan Lakušić et S. Lakusic, Éd., « Uporaba granitne prašine u samozbijajućem betonu », *JCE*, vol. 66, 2014, doi: 10.14256/JCE.1117.2014.

[22] S. Singh, AnshumanTiwari, R. Nagar, et V. Agrawal, « Feasibility as a Potential Substitute for Natural Sand: A Comparative Study between Granite Cutting Waste and Marble Slurry », *Procedia Environmental Sciences*, vol. 35, p. 571‑582, janv. 2016, doi: 10.1016/j.proenv.2016.07.042.

[23] M. Vijayalakshmi, A. S. S. Sekar, et G. Ganesh prabhu, « Strength and durability properties of concrete made with granite industry waste », *Construction and Building Materials*, vol. 46, p. 1‑7, sept. 2013, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.04.018.

[24] S. Ghannam, H. Najm, et R. Vasconez, « Experimental study of concrete made with granite and iron powders as partial replacement of sand », *Sustainable Materials and Technologies*, vol. 9, p. 1‑9, sept. 2016, doi: 10.1016/j.susmat.2016.06.001.

[25] G. C. Cordeiro, L. M. S. C. de Alvarenga, et C. A. A. Rocha, « Rheological and mechanical properties of concrete containing crushed granite fine aggregate », *Construction and Building Materials*, vol. 111, p. 766‑773, mai 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.02.178.

[26] H. Binici et O. Aksogan, « Durability of concrete made with natural granular granite, silica sand and powders of waste marble and basalt as fine aggregate », *Journal of Building Engineering*, vol. 19, p. 109‑121, sept. 2018, doi: 10.1016/j.jobe.2018.04.022.

[27] « Pre- and post-fire mechanical performances of high calcium fly ash geopolymer concrete containing granite waste », *Journal of Building Engineering*, vol. 44, p. 103265, déc. 2021, doi: 10.1016/j.jobe.2021.103265.

[28] C. Palanisamy, S. Velusamy, N. Krishnaswami, K. Manickam, L. Rathinasamy, et I. Annamalai, « Experimental investigation on self-compacting concrete with waste marble and granite as fine aggregate », *Materials Today: Proceedings*, vol. 65, p. 1900‑1907, janv. 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2022.05.159.

[29] M. Sabbrojjaman, Y. Liu, et T. Tafsirojjaman, « A comparative review on the utilisation of recycled waste glass, ceramic and rubber as fine aggregate on high performance concrete: Mechanical and durability properties », *Developments in the Built Environment*, vol. 17, p. 100371, mars 2024, doi: 10.1016/j.dibe.2024.100371.

[30] A. Limited, « stockage des pare-brise en verre feuilleté cassés pour recyclage Photo Stock - Alamy ». Consulté le: 15 juin 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://www.alamyimages.fr/stockage-des-pare-brise-en-verre-feuillete-casses-pour-recyclage-image367434220.html

[31] K. K. W. Premathilaka, D. S. Liyanapathirana, C. J. Leo, et P. Hu, « Application of recycled waste glass to replace traditional quarried aggregates: A comprehensive review », *Journal of Building Engineering*, vol. 86, p. 108846, juin 2024, doi: 10.1016/j.jobe.2024.108846.

[32] « Le recyclage du verre », Lemon Tri. Consulté le: 15 juin 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://lemontri.fr/le-recyclage-du-verre/

[33] « Properties of self-compacting concrete prepared with recycled glass aggregate », *Cement and Concrete Composites*, vol. 31, n° 2, p. 107‑113, févr. 2009, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2008.12.002.

[34] « Feasibility of using recycled glass in architectural cement mortars », *Cement and Concrete Composites*, vol. 33, n° 8, p. 848‑854, sept. 2011, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2011.05.006.

[35] « Utilizing Waste Recycled Glass as Sand/Cement Replacement in Concrete | Journal of Materials in Civil Engineering | Vol 21, No 12 ». Consulté le: 22 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)0899-1561(2009)21:12(709)

[36] A. Saccani et M. C. Bignozzi, « ASR expansion behavior of recycled glass fine aggregates in concrete », *Cement and Concrete Research*, vol. 40, n° 4, p. 531‑536, avr. 2010, doi: 10.1016/j.cemconres.2009.09.003.

[37] B. Taha et G. Nounu, « Properties of concrete contains mixed colour waste recycled glass as sand and cement replacement », *Construction and Building Materials*, vol. 22, n° 5, p. 713‑720, mai 2008, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2007.01.019.

[38] « Stress-strain behaviour of cement mortars containing recycled glass during and after exposure to elevated temperatures », *Cement and Concrete Composites*, vol. 118, p. 103970, avr. 2021, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2021.103970.

[39] Z. Z. Ismail et E. A. AL-Hashmi, « Recycling of waste glass as a partial replacement for fine aggregate in concrete », *Waste Management*, vol. 29, n° 2, p. 655‑659, févr. 2009, doi: 10.1016/j.wasman.2008.08.012.

[40] S. Nasiru *et al.*, « Properties of cement mortar containing recycled glass and rice husk ash », *Construction and Building Materials*, vol. 299, p. 123900, sept. 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.123900.

[41] A. Dehghan, K. Peterson, et A. Shvarzman, « Recycled glass fiber reinforced polymer additions to Portland cement concrete », *Construction and Building Materials*, vol. 146, p. 238‑250, août 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.04.011.

[42] « Effect of recycled glass powder on properties of cementitious materials contains styrene butadiene rubber | Arabian Journal of Geosciences ». Consulté le: 22 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://link.springer.com/article/10.1007/s12517-018-4212-0

[43] Md. N. N. Khan, A. K. Saha, et P. K. Sarker, « Reuse of waste glass as a supplementary binder and aggregate for sustainable cement-based construction materials: A review », *Journal of Building Engineering*, vol. 28, p. 101052, mars 2020, doi: 10.1016/j.jobe.2019.101052.

[44] L. S. Ho et T.-P. Huynh, « Recycled waste medical glass as a fine aggregate replacement in low environmental impact concrete: Effects on long-term strength and durability performance », *Journal of Cleaner Production*, vol. 368, p. 133144, sept. 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.133144.

[45] F. Pacheco-Torgal et S. Jalali, « Reusing ceramic wastes in concrete », *Construction and Building Materials*, vol. 24, n° 5, p. 832‑838, mai 2010, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2009.10.023.

[46] M. Mohit et Y. Sharifi, « Thermal and microstructure properties of cement mortar containing ceramic waste powder as alternative cementitious materials », *Construction and Building Materials*, vol. 223, p. 643‑656, oct. 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.07.029.

[47] M. Mohit, A. Ranjbar, et Y. Sharifi, « Mechanical and microstructural properties of mortars incorporating ceramic waste powder exposed to the hydrochloric acid solution », *Construction and Building Materials*, vol. 271, p. 121565, févr. 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.121565.

[48] E. D. Yanti *et al.*, « Utilization of various ceramic waste as fine aggregate replacement into fly ash-based geopolymer », *Materials Letters*, vol. 357, p. 135651, févr. 2024, doi: 10.1016/j.matlet.2023.135651.

[49] « Déchets En Céramique Dans Un Conteneur De Recyclage. Sièges De Toilettes Cassés Cuisine Céramique Vaisselle Cassés Tasses Et Assie Photo éditorial - Image du personne, nature: 229598031 », Dreamstime. Consulté le: 15 juin 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://fr.dreamstime.com/déchets-en-céramique-conteneur-recyclage-sièges-toilettes-cassés-cuisine-vaisselle-tasses-assiettes-image229598031

[50] I. Martínez, M. Etxeberria, E. Pavón, et N. Díaz, « A comparative analysis of the properties of recycled and natural aggregate in masonry mortars », *Construction and Building Materials*, vol. 49, p. 384‑392, déc. 2013, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.08.049.

[51] S. Fu et J. Lee, « Recycling of ceramic tile waste into construction materials », *Developments in the Built Environment*, vol. 18, p. 100431, avr. 2024, doi: 10.1016/j.dibe.2024.100431.

[52] P. O. Awoyera, J. O. Akinmusuru, A. R. Dawson, J. M. Ndambuki, et N. H. Thom, « Microstructural characteristics, porosity and strength development in ceramic-laterized concrete », *Cement and Concrete Composites*, vol. 86, p. 224‑237, févr. 2018, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2017.11.017.

[53] « Alkaline Activation of Ceramic Waste Materials | Waste and Biomass Valorization ». Consulté le: 23 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://link.springer.com/article/10.1007/s12649-013-9197-z

[54] S. A. Zareei, F. Ameri, P. Shoaei, et N. Bahrami, « Recycled ceramic waste high strength concrete containing wollastonite particles and micro-silica: A comprehensive experimental study », *Construction and Building Materials*, vol. 201, p. 11‑32, mars 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.12.161.

[55] « Use of fine recycled aggregates from ceramic waste in masonry mortar manufacturing », *Construction and Building Materials*, vol. 40, p. 679‑690, mars 2013, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2012.11.036.

[56] « The effect of using sanitary ware as aggregates on rendering mortars' performance », *Materials & Design*, vol. 91, p. 155‑164, févr. 2016, doi: 10.1016/j.matdes.2015.11.086.

[57] « Mechanical properties of structural concrete with fine recycled ceramic aggregates », *Construction and Building Materials*, vol. 64, p. 103‑113, août 2014, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.04.037.

[58] P. Torkittikul et A. Chaipanich, « Utilization of ceramic waste as fine aggregate within Portland cement and fly ash concretes », *Cement and Concrete Composites*, vol. 32, n° 6, p. 440‑449, juill. 2010, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2010.02.004.

[59] « Reuse of sanitary ceramic wastes as coarse aggregate in eco-efficient concretes », *Cement and Concrete Composites*, vol. 34, n° 1, p. 48‑54, janv. 2012, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2011.08.015.

[60] Y. Abadou, R. Mitiche-Kettab, et A. Ghrieb, « Ceramic waste influence on dune sand mortar performance », *Construction and Building Materials*, vol. 125, p. 703‑713, oct. 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.08.083.

[61] K. Rashid, A. Razzaq, M. Ahmad, T. Rashid, et S. Tariq, « Experimental and analytical selection of sustainable recycled concrete with ceramic waste aggregate », *Construction and Building Materials*, vol. 154, p. 829‑840, nov. 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.07.219.

[62] RM. Senthamarai et P. Devadas Manoharan, « Concrete with ceramic waste aggregate », *Cement and Concrete Composites*, vol. 27, n° 9, p. 910‑913, oct. 2005, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2005.04.003.

[63] Z. Keshavarz et D. Mostofinejad, « Porcelain and red ceramic wastes used as replacements for coarse aggregate in concrete », *Construction and Building Materials*, vol. 195, p. 218‑230, janv. 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.11.033.

[64] M. Meera et S. Gupta, « Performance evaluation of marble powder and fly ash concrete for non-structural applications », *Journal of Building Engineering*, vol. 84, p. 108499, mai 2024, doi: 10.1016/j.jobe.2024.108499.

[65] H. Binici et O. Aksogan, « Durability of concrete made with natural granular granite, silica sand and powders of waste marble and basalt as fine aggregate », *Journal of Building Engineering*, vol. 19, p. 109‑121, sept. 2018, doi: 10.1016/j.jobe.2018.04.022.

[66] V. Singhal, R. Nagar, et V. Agrawal, « Sustainable use of fly ash and waste marble slurry powder in concrete », *Materials Today: Proceedings*, vol. 32, p. 975‑981, janv. 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.05.650.

[67] K. Vardhan, R. Siddique, et S. Goyal, « Influence of marble waste as partial replacement of fine aggregates on strength and drying shrinkage of concrete », *Construction and Building Materials*, vol. 228, p. 116730, déc. 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.116730.

[68] PA. Velci Shridevi, M. Shahul Hameed, R. Kumar, A. Dhanalakshmi, et H. Mohamed Thameem Ansari, « Strength characteristics of fibre reinforced self compacting concrete using

marble sludge powder », *Materials Today: Proceedings*, déc. 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2023.12.004.

[69] Dhouha Ben Hadj Tahar, Zakaria Triki , Mohamed Guendouz , Hichem Tahraoui, Meriem Zamouche ,Mohammed Kebir , Jie Zhang and Abdeltif Amrane , Characterization and Thermal Evaluation of a Novel Bio-Based Natural Insulation Material from Posidonia oceanic Waste: A Sustainable Solution for Building Insulation in Algeria., ChemEngineering 2024, 8, 18.https://doi.org/10.3390/ chemengineering8010018

[70] Habiba Blaifi, Mohamed Guendouz, Abd-Elmouneïm Belhadj, Djamila Boukhelkhal, Moussa Hadjadj, Sustainable use of recycled plastic and ceramic industrial wastes in eco-friendly construction materials,Environmental Engineering and Management Journal., Vol. 22, No. 8, 1471-1486, (**2023**). http://doi.org/10.30638/eemj.2023.124

[71] Mohamed Guendouz, Djamila Boukhelkhal, Abdellah Mechantel, Tarek Boukerma, Valorization of coffee waste as bio-aggregates in crushed sand concrete production, Environmental Engineering and Management Journal., Vol. 22, No. 1, 147-156, (**2023**). http://doi.org/10.30638/eemj.2023.013

[72] Djamila Boukhelkhal, **Mohamed Guendouz**, Zakaria Triki, Physical and thermal properties of lightweight self-compacting mortar made with recycled walnut shells as fine agreggrates. Algerian Journal of Environmental Science and Technology, Vol.9. No3. (**2023**). https://www.aljest.net/index.php/aljest/article/view/898

[73] Mohamed Guendouz, Djamila Boukhelkhal, Zakaria Triki, Abdelah Mechantel and Tarek Boukerma, Effect of using spent coffee grounds wastes as aggregates on physical and thermal properties of sand concrete. Algerian Journal of Environmental Science and Technology, Vol.9. N°3. (**2023**). 894

[74] Laid Guermiti, Dalila Benamara , Mohamed Guendouz, Experimental and numerical investigation of the workability and mechanical properties of High-performance fiber-reinforced fluid concrete (HPFRFC), International journal of advanced studies in computer science and engineering, IJASCSE, V. 11 N°5, (2022). https://new.ijascse.org/IJASCSE-volume-11-issue-05.html

[75] Samir Benimam, Mohamed Bentchikou, Farid Debieb, Said Kenai and Mohamed Guendouz, Physical and mechanical properties of cement mortar with LLDPE powder and PET fiber wastes. Advances in Concrete Construction, Vol. 12, No. 6 (2021) 461-467. https://doi.org/10.12989/acc.2021.12.6.461

[76] Djamila Boukhelkhal., Mohamed Guendouz, Alexandra Bourdot, Hanane Cheriet, Kaouther Messaoudi. Elaboration of bio-based building materials made from recycled olive core. MRS Energy & Sustainability (**2021**). https://doi.org/10.1557/s43581-021-00006-8

[77] Mohamed Guendouz and Djamila Boukhelkhal, Properties of flowable sand concrete containing ceramic wastes, Journal of adhesion science and technology,(**2019**)V.33.24.2661–2683. https://doi.org/10.1080/01694243.2019.1653594

[78] Guendouz Mohamed, Boukhelkhal Djamila, Properties of dune sand concrete containing coffee waste**,** MATEC Web of Conférences, **(2018**)V.149. 01039 https://doi.org/10.1051/matecconf/201814901039
[79] Guendouz Mohamed, Boukhelkhal Djamila, Physical, mechanical and thermal properties of Crushed Sand Concrete containing Rubber Waste, MATEC Web of Conférences,(**2018**)V.149. 01076.https://doi.org/10.1051/matecconf/201814901039
[80]Guendouz Mohamed, Boukhelkhal Djamila, Physical and mechanical properties of cement mortar made with brick waste, MATEC Web of Conférences,(**2018**)V.149. 01077.https://doi.org/10.1051/matecconf/201814901077
[81] Boukhelkhal Djamila, Guendouz Mohamed, The use of non-destructive tests to estimate Self-compacting concrete compressive strength, MATEC Web of Conférences,(**2018**)V.149. 01036. https://doi.org/10.1051/matecconf/201814901036
[82] Guendouz Mohamed, Boukhelkhal Djamila, Recycling of rubber waste in sand concrete, Journal of building materials and structures, (**2017**) V.4: 42-49. https://doi.org/10.34118/jbms.v4i2.30
[83] Mohamed Guendouz, Farid Debieb, Othmane Boukendakdji, El-Hadj Kadri, Mohamed Bentchikou, Hamza Soualhi, Use of plastic waste in sand concrete, Journal of Materials and Environmental Science (**2016**)V.7(2):382-389. https://www.jmaterenvironsci.com/Journal/vol7-2.html
[84] Benimam Samir, Debieb Farid,Bentchikou Mohamed et Guendouz Mohamed Valorisation et Recyclage des Déchets Plastiques dans le Béton ,MATEC Web of Conférences,(**2014**)V.11.01033 https://doi.org/10.1051/matecconf/20141101033
[85] Mohamed Guendouz, Djamila Boukhelkhal, Alexandra Bourdot, Oussama Babachikh and Amine Hamadouche., , The Effect of Ceramic Wastes on Physical and Mechanical Properties of Eco-Friendly Flowable Sand Concrete, *Ceramic Materials*, IntechOpen,2020. http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.95041

[86] Mohamed Guendouz, Djamila Boukhelkhal, and Alexandra Bourdot, Recycling of Floor Tile Waste as Fine Aggregate in Flowable Sand Concrete, *Advances in Green Energies and Materials Technology*,Springer Proceedings in Energy, https://doi.org/10.1007/978-981-16-0378-5_30

[87] Mohamed Guendouz, Farid Debieb, El Hadj Kadri , Formulation et caractérisation d'un béton de sable à base de déchets plastiques, HAL Id: hal-01167754 https://hal.science/hal-01167754 24 Jun 2015

[88] GUENDOUZ, Mohamed et DEBIEB, Farid. Contribution à la formation et à la Caractérisation d'un éco-materiau de construction à base de déchets Plastiques application au béton de Sable. 2017. Thèse de doctorat.

[89] Boudjema, Mohamed, Ahmed Kennoudi, and Mohamed GUENDOUZ. "Influence de déchets d'aluminium sur les performances de Béton de sable fluide." (2020).

[90] RIALI, Asmaa, HAMMOUCHE, Ibtihal, et GUENDOUZ, Mohamed. Caractéristiques physico-mécaniques du béton du sable fluide à base des déchets céramique rouge. 2020.

[91] BACHENE, Sihem, GUENDOUZ, Mohamed, et al. Elaboration d'un éco-matériau de construction à base de déchets de céramiques blanc. 2020.

[92] DELCI, Dalila, Imane DOUIB, and Mohamed GUENDOUZ. "Influence des fibres végétales sur les performances mécaniques et thermiques de béton de sable fluide." (2020).

[93] TAHRAOUI, Youcef, Nour Elislam DJEMAI, and Mohamed GUENDOUZ. "Fabrication d'un éco-matériaux à base de déchets de fonderie." (2020).

[94] BADAOUI, Ahmed, Hicham KEFFAZ, and Mohamed GUENDOUZ. "Valorisation des déchets de coquillage dans le béton de sable fluide." (2020).

[95] HADJADJ, Moussa, Abdelrahman ZANAGUI, and Mohamed GUENDOUZ. "Influence couplé de déchets plastique et de céramique sur les performances du béton autoplacant." (2020).

[96] Bouziani, Tarek, and Mohamed GUENDOUZ. "Propriétés physico-mécanique et thermique d'un éco-matériau de construction a base des fibres Posidonie oceanique." (2021).

[97] BOUCHENAFA, Hafidha, Hayet TERKMANE, and Mohamed GUENDOUZ. "Elaboration d'un éco-matériau de construction à base des isolants recyclés." (2021).

[98] Benaissa, Yasmine, Asma Belkessam, and Mohamed GUENDOUZ. "Influence couplé de déchets céramiques et coquillages sur les performances de béton de sable fluide." (2021).

[99] AHMEDI, Malika, and Mohamed GUENDOUZ. "Développement d'un nouveaux composite cimentaire à base des déchets industriels combinés avec les déchets de coquillage." (2022).

[100] DOUIFI, Zakaria, et al. "Etude de l'influence couplée des déchets solides et de fibres métalliques sur les propriétés physico-mécanique d'un écomatériau de construction." (2022).