



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Echahid Hamma Lakhdar - El Oued

Faculté de la Technologie

Département d'Hydraulique et de Génie Civil

MÉMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Spécialité : Matériaux en Génie Civil

Présenté par :

1. DJOUIDA MOHAMMED MERIEM
2. SERHOUD OUISSAL

Intitulé :

**Propriétés mécaniques du mortier de ciment renforcé par
des fibres de polypropylène et des déchets céramiques**

Soutenue le : 13 /06 /2026

Devant le jury composé de :

Dr : FETHIZA ALI Boubaker

Président

Dr : AMMARI Mohammed Seghir

Examineur

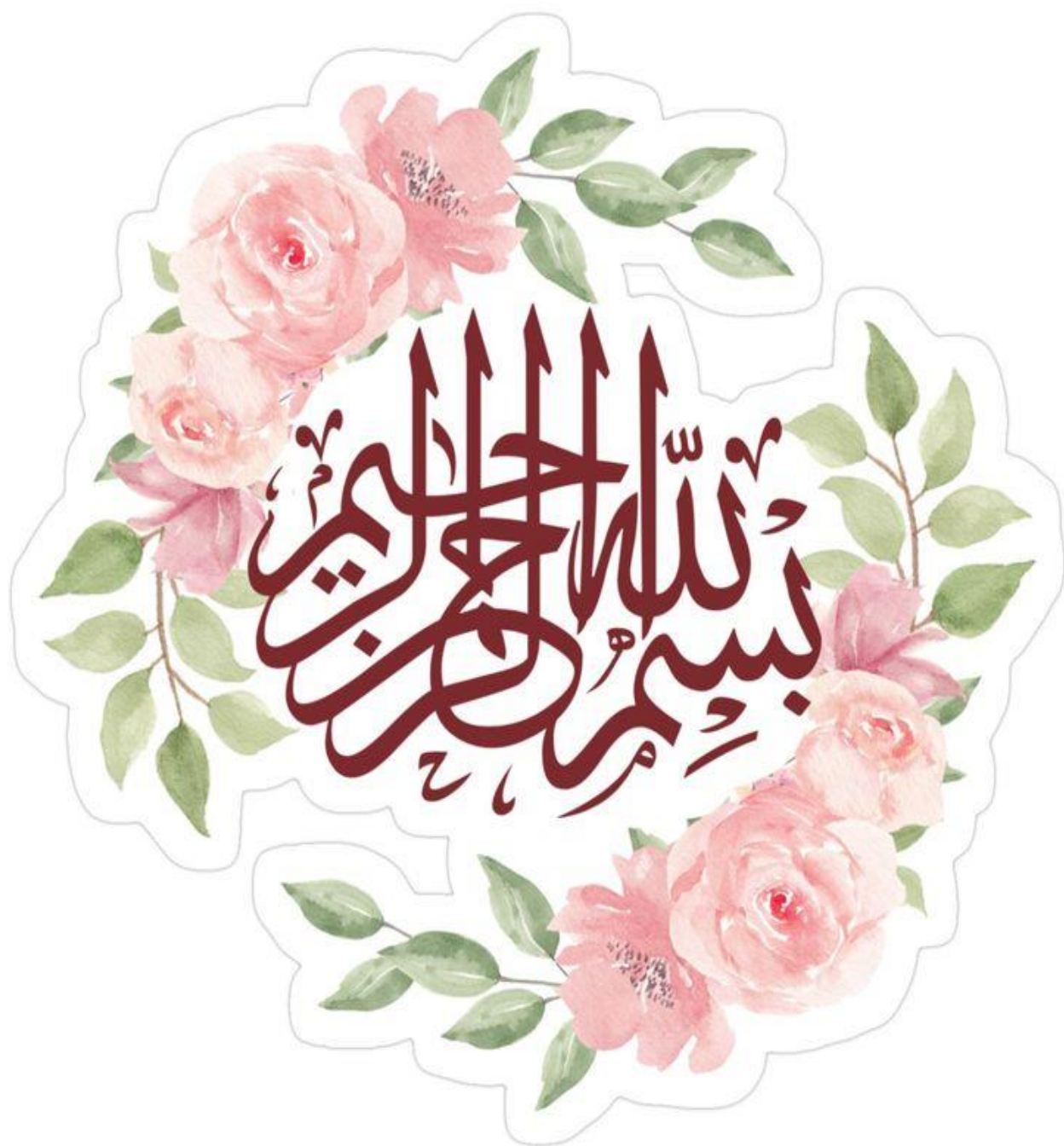
Dr : KHELAIFA Hamad

Encadreur

Dr : SEK Lakhdar

Co-encadreur

Année académique : 2025/2026





Remerciements

Nous remercions avant tout Allah le Tout-Puissant qui nous a donné la force, la patience et la volonté pour accomplir ce modeste travail.

Nous Lui adressons notre profonde gratitude pour toutes les bénédictions et le succès qu'Il nous a accordés tout au long de cette réalisation.

Nous exprimons également nos sincères remerciements à nos chers parents pour leur soutien permanent, leurs encouragements et leurs sacrifices.

Leurs prières, leur patience et leur présence à nos côtés ont été d'un grand soutien dans l'aboutissement de ce travail.

Nous adressons aussi nos vifs remerciements à notre encadreur, **Dr Khelaifa Hamad**, pour ses précieux conseils, son orientation et son accompagnement durant toute la période de ce travail.

Nous remercions également l'enseignant assistant, **Dr Sak Lakhdar**, pour son aide et sa collaboration.

Nous tenons également à remercier chaleureusement le personnel du laboratoire pour leur collaboration, leur accueil et leur aide précieuse durant la partie pratique.

Nos remerciements vont aussi à nos chers collègues pour l'esprit d'entraide et de solidarité partagé tout au long de notre parcours.

Nous n'oublions pas de remercier notre famille ainsi que toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Enfin, nous demandons à Dieu d'accorder à chacun réussite, bonheur et prospérité.



Dédicaces

Louange à Dieu, infinie et bénie, au début comme à la fin, intérieurement et extérieurement. C'est par Sa grâce que les bonnes actions s'accomplissent, par Son aide que les objectifs se réalisent, et par Sa volonté que les commencements se facilitent et que les fins s'achèvent avec succès.

Malgré la difficulté du chemin et la longueur du parcours, cet accomplissement n'aurait jamais été possible sans la grâce de Dieu, Sa guidance et Sa bénédiction qui m'ont accompagné à chaque étape.

Je dédie le fruit de ce succès à mon moi ambitieux, qui a cru en ses rêves, a fait preuve de patience et de persévérance jusqu'à atteindre son objectif, ainsi qu'à toutes les personnes qui m'ont soutenu(e) et accompagné(e) tout au long de mon parcours universitaire et qui ont contribué, de près ou de loin, à mon évolution.

À mon cher père, source de fierté et de force, qui a été mon soutien et m'a ouvert le chemin du savoir et de la réussite avec amour et dévouement.

À ma chère mère, symbole de générosité, de patience et de tendresse, dont les prières bénies et le soutien constant ont été parmi les plus grandes raisons de mon succès.

J'adresse également mes sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de cette étape, et je prie Dieu de nous accorder davantage de réussite, de succès et d'excellence dans l'avenir.

RÉSUMÉ

Cette étude porte sur l'influence de l'incorporation des déchets de céramique recyclés et des fibres de polypropylène sur les propriétés mécaniques du mortier de ciment. Dans ce cadre, plusieurs mélanges expérimentaux ont été préparés par substitution partielle du sable par des déchets de céramique à des taux de 8 %, 16 % et 24 %, ainsi que par l'incorporation de sable de dunes à des taux de 10 %, 15 % et 20 %, avec l'ajout de fibres de polypropylène à raison de 1 kg/m³. Les différents mélanges ont ensuite été soumis à une série d'essais à l'état frais et à l'état durci afin d'évaluer leur comportement et leurs performances mécaniques.

L'étude s'est principalement concentrée sur l'évaluation de la résistance à la compression et de la résistance à la traction du mortier de ciment. Les résultats expérimentaux ont montré que l'incorporation des déchets de céramique recyclés et du sable de dunes, associée à l'ajout de fibres de polypropylène, contribue à l'amélioration des propriétés mécaniques du mortier pour certains taux d'incorporation. Une augmentation de la résistance mécanique ainsi qu'une amélioration de la cohésion de la structure interne du matériau ont ainsi été observées.

Par ailleurs, l'utilisation de ces matériaux permet de valoriser les déchets céramiques et de réduire la consommation des ressources naturelles, ce qui s'inscrit dans les principes du développement durable et de la préservation de l'environnement. Les résultats obtenus confirment la possibilité de produire un mortier de ciment présentant de bonnes performances mécaniques et des propriétés améliorées, tout en offrant des avantages environnementaux et économiques grâce au recyclage des déchets et à l'exploitation des ressources locales disponibles.

Mots clés : Mortier cimentaire, Fibres de polypropylène, Déchets de céramiques, Propriétés mécaniques.

ABSTRACT

This study investigates the effect of incorporating recycled ceramic waste and polypropylene fibers on the mechanical properties of cement mortar. In this context, several experimental mixtures were prepared by partially replacing sand with ceramic waste at replacement levels of 8%, 16%, and 24%, as well as by incorporating dune sand at proportions of 10%, 15%, and 20%, with the addition of 1 kg/m³ of polypropylene fibers. The different mixtures were then subjected to a series of tests in both the fresh and hardened states to evaluate their behavior and mechanical performance.

The study mainly focused on assessing the compressive strength and tensile strength of cement mortar. The experimental results showed that the incorporation of recycled ceramic waste and dune sand, combined with the addition of polypropylene fibers, contributes to the improvement of the mechanical properties of mortar at specific incorporation rates. An increase in mechanical strength and an enhancement in the cohesion of the material's internal structure were observed.

Furthermore, the use of these materials contributes to the valorization of ceramic waste and the reduction of natural resource consumption, which is consistent with the principles of sustainable development and environmental preservation. The obtained results confirm the possibility of producing cement mortar with good mechanical performance and improved properties while achieving environmental and economic benefits through waste recycling and the utilization of locally available resources.

Key words: Cement mortar, Polypropylene fibers, ceramic waste, Mechanical performance.

الملخص

تتناول هذه الدراسة تأثير إدماج نفايات السيراميك المعاد تدويرها وألياف البولي بروبيلين على الخصائص الميكانيكية للمونة الإسمنتية. وفي هذا الإطار، تم تحضير عدة خلطات تجريبية من خلال الاستبدال الجزئي للرمال بنفايات السيراميك بنسب 8% و 16% و 24%، بالإضافة إلى إدماج رمال الكثبان الرملية بنسب 10% و 15% و 20%، مع إضافة ألياف البولي بروبيلين بنسبة 1 كغ/م³. ثم أخضعت مختلف الخلطات لسلسلة من الاختبارات في الحالة الطازجة والحالة المتصلبة بهدف تقييم سلوكها وأدائها الميكانيكي.

وقد ركزت الدراسة بشكل أساسي على تقييم مقاومة الضغط ومقاومة الشد للمونة الإسمنتية، وأظهرت النتائج التجريبية أن إدماج نفايات السيراميك المعاد تدويرها ورمال الكثبان الرملية، مع إضافة ألياف البولي بروبيلين، يساهم في تحسين الخصائص الميكانيكية للمونة عند نسب إدماج معينة، حيث لوحظت زيادة في المقاومة الميكانيكية وتحسن في تماسك البنية الداخلية للمادة.

كما يساهم استخدام هذه المواد في تثمين النفايات السيراميكية والحد من استهلاك الموارد الطبيعية، مما ينسجم مع مبادئ التنمية المستدامة والحفاظ على البيئة. وتؤكد النتائج المتحصل عليها إمكانية إنتاج مونة إسمنتية ذات أداء ميكانيكي جيد وخصائص محسنة، مع تحقيق فوائد بيئية واقتصادية من خلال إعادة تدوير النفايات واستغلال الموارد المحلية المتاحة.

الكلمات المفتاحية: ملاط اسمنتي، ألياف بولي بروبيلين، نفايات السيراميك، خصائص ميكانيكية.

Sommaire

❖ Remerciements.....	I
❖ Dédicaces	II
❖ RÉSUMÉ.....	III
❖ ABSTRACT	IV
❖ Sommaire	V
❖ Liste de figure	X
❖ Liste de tableaux.....	XII
❖ Introduction générale.....	2

Chapitre I :

Synthèse bibliographique

I.1. Introduction.....	5
I.2. Les mortiers	5
I.2.1. Le mortier de ciment	5
I.2.2. Étymologie des mortiers.....	6
I.2.3. Constituants des mortiers.....	6
I.2.3.1. Ciment.....	6
I.2.3.2. sable.....	7
I.2.3.3. Eau.....	7
I.2.3.4. Additifs minéraux	<u>8</u>
I.2.3.5. Différents types de mortiers.....	8
I.3. Utilisations et applications.....	9
I.4. Essais de résistance mécanique.....	10
I.5. Recyclage.....	10
I.5.1. L'Importance du recyclage.....	11
I.5.1.1. Environnemental	11
I.5.1.2. Économique	11
I.5.1.3. Social.....	11
I.5.2. Types de recyclage	12
I.5.2.1. Recyclage mécanique.....	12
I.5.2.2. Recyclage chimique	12
I.5.2.3. Recyclage organique	12

I.6. Valorisation des déchets en Algérie	13
I.6.1. Source de déchets.....	13
I.7. Valorisation des déchets en génie civil	13.
I.8. Céramique et les déchets de céramique (DC)	13.
I.8.1. Céramique	14
I.8.1.1. Technologie de fabrication d'une céramique	15
I.8.1.2. Types de céramiques	15
I. 8.1.3. Céramiques techniques avancées.....	16
I.8.1.4. Les déchets céramiques (DC).....	16
I. 8.1.5. Utilisation des déchets céramiques comme matières premières dans le mortier.....	17
I.9. Les fibres.....	18
I.9.1. Types de fibres	18
I.9.2. Fibres de polypropylène.....	19
I.9.3. Avantages des fibres de polypropylène	19
I.9.4. Inconvénients des fibres de polypropylène	20
I.9.5. Propriétés des fibres de polypropylène	20
I.9.6. Applications des fibres de polypropylène	20
I. 10. Sable de dunes	21
I. 10.1. Définition d'un sable de dunes.....	21
I.10.2. Mécanismes de formation de dune	21
I.10.3. Types des dunes.....	22
I.10.3.1. Les avant-dunes	22
I.10.3.2. Les falaises dunaires.....	22
I.10.3.3. Les dunes perchées.....	22
I.10.3.4. Les cordons dunaires artificiels.....	22
I.10.4. Physique des dunes.....	23
I.10.5. Utilisation du sable de dunes	23
I.10.5.1. Diverses utilisations.....	23
I.11. Sable Alluvionnaire	24.
I.11.1. Propriétés techniques	24.
I.11.2. Ses applications en génie civil	25
I.11.3. Situation en Algérie.....	25.
I.10. Conclusion	25.

Chapitre II

Matériaux et procédures expérimentales

II.1.Introduction	28
II.2.Matériaux utilisés	28
II.2.1.Sables	28
II.2.2.Ciment	28
II.2.3. Les fibres polypropylène	28
II.2.3.1. Caractéristiques physiques et mécaniques des fibres utilisées.....	31
II.2.4. Déchets de céramiques (< 1.25mm)	31
II.2.5. Caractéristiques physiques	32
II.2.5.1. Les masses volumiques	32
II.2.5.2. Analyse granulométrique	32
II.2.5.3. Module de finesse	33
II.2.5.4. Equivalent de sable	36
II.2.5.5. Synthèse des résultats	36
II.2.6. Eau de gâchage	36
II.2.7 les Atdjuvan	36
II.3. Formulations	37
II.3.1. Formulations du mortier de ciment (0%GC, 0%DC)	37
II.3.2. Compositions des mortiers de ciments	37
II.3.3. Procédure expérimentale	39
II.3.3.1. Fabrication du mortier de ciment.....	39
II.3.3.1.1. Pesage des composants du mortier de ciment	39
II.3.3.1.2. Malaxage des composants du mortier de ciment.....	40
II.3.3.1.3. Coulage des éprouvettes	41
II.3.3.1.4. Etapes de coulage des éprouvettes.....	41
II.3.4. Les essais réalisés	43
II.3.4.1. Essais réalisés à l'état frais	43.
II.3.4.1.1. Détermination de la masse volumique.....	43
II.3.4.2. Essais réalisés à l'état sec	44
II.3.4.2.1. Essai de traction par flexion	44.
II.3.4.2.2. Essai de compression.....	44
II.3.4.2.3. Essai d'absorption d'eau par capillarité.....	45
II.3.4.2.4. Essai d'auscultation dynamique	45

II.4. Conclusion	47
------------------------	----

Chapiter III

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

III.1. Introduction	49
III.2. Mortier à l'état frais	49
III.2.1. La masse volumique.....	49
III.3. Mortier à l'état durci	51
III.3.1. Résistance à la compression.....	51
III.3.2. Résistance à la traction par flexion.....	52
III.3.3. L'absorption d'eau par immersion totale.....	55
III.3.4.Vitesse de propagation des ultrasons.....	57
Conclusion Générale et Perspective	59
Références bibliographique.....	<u>62</u>

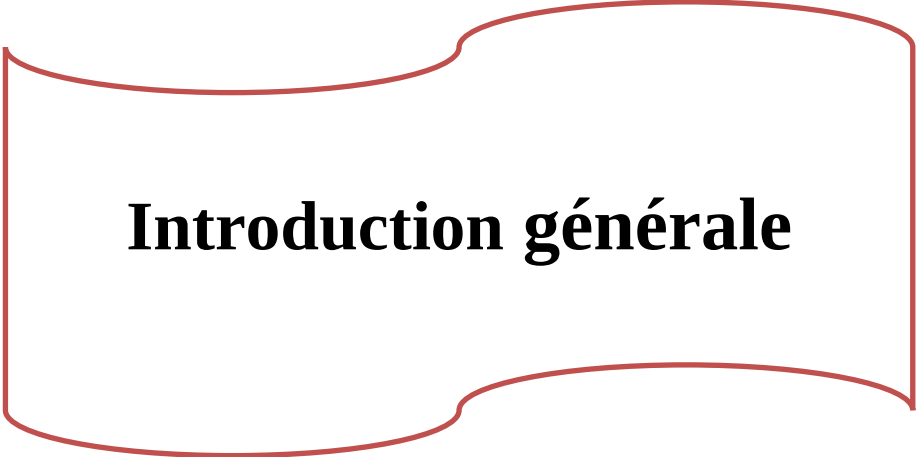
Liste de figure

- Figure I.1 : recyclage.....	11
- Figure I.2: Exemple des céramiques traditionnelles.....	15
- FigureI.3 : Différentes étapes d'élaboration des céramiques.....	15
- Figure I.4 : Déchets céramique.....	17
- Figure I.5: fibres de polypropylène.....	19
- Figure I.6 : Sable de dune.....	21
- Figure I.7: Sable Alluvionnaire.....	25
- Figure II.1 : sable alluvionnaire.....	29
- Figure II.2 : sable de dune	29
- Figure II.3 : le ciment utilisé.....	29
- Figure II.4: Les fibres polypropylène utilisées.....	31
- FigureII.5 : Déchets de céramiques (<1.25mm.).....	32
- Figure II.6: Super plastifiant.....	33
- Figure II.7 : Masse volumique absolue.....	34
- Figure II.8 : Masse volumique apparent.....	34
- Figure II.9 : Tamis d`analyse granulométrique.....	36
- Figure II.10 : mesure d'équivalent de sable.....	37
- Figure II.11 : Courbes granulométriques des sables utilisés et des granulats de céramiques.....	38
- Figure II.12: Pesage des composants du mortier cimentaire.....	40
- FigureII.13 : Matériaux utilisés secs.....	41
- FigureII.14 : Mélanger les matières sèche.....	41
- FigureII.15 : Ajouter de l`eau en mélangeant.....	41
- Figure.II.16 : Moule de l'éprouvette utilisée.....	42
- Figure.II.17 : Lubrifie de moule.....	42
- Figure. II .18 : Verser la mimollette de la quantité dans le moule.....	42
- Figure .II.19 : Nettoyage des échantillons.....	43
- Figure II.20 : Détermination de la masse volumique.....	43
- Figure .II.21 : Échantillons après leur sortie de l'eau.....	44
- Figure II.22 : Séchage des échantillons.....	44
- Figure.II.23 : cement compression machine.....	45
- Figure II.24 : Essai de traction par flexion.....	45

- Figure .II.25 : Essai de compression.....	46
- Figure II.26 : L'essai d'absorption d'eau par.....	46
- Figure.II.27: Essai d'auscultation dynamique.....	47
- Figure.III.1: Les masses volumiques de mortiers à base de sable de dune.....	50
- Figure.III.2: Les masses volumiques de mortiers à base de déchets de céramiques.....	51
- Figure.III.3: Relation entre le taux de déchets de céramiques et la résistance à la compression à 7et 28 jours.....	52
- Figure.III.4: Relation entre le taux de déchets de céramiques et la résistance à la compression à 7et 28 jours.....	53
- Figure.III.5: Relation entre le taux de sable dunaire et la résistance à la traction par flexion à 7et 28 jours.....	54
- Figure.III.6: Relation entre le taux de déchets céramiques et la résistance à la traction par flexion à 7et 28 jours.....	55
- Figure.III.7: Absorption d'eau par immersion totale des mortiers avec sable de dune.....	56
- Figure.III.8: Absorption d'eau par immersion totale des mortiers avec déchets céramiques.....	56
- Figure.III.9: Vitesse de propagation d'ultrasons des mortiers avec avec sable de dune.....	57
- Figure.III.10: Vitesse de propagation d'ultrasons des bétons avec déchets céramiques.....	58

Liste de tableaux

-	Tableau II.1. Résistance à la compression (NA 234).....	30
-	Tableau II.2. Analyses chimiques (NA 5042).....	30
-	Tableau II.3. Composition minéralogique du ciment (CLINKER).....	30
-	Tableau II.4. Caractéristiques physiques du ciment MATINE.....	31
-	Tableau II.5: Caractéristiques physiques et mécaniques des fibres polypropylène.....	32
-	Tableau II.6 : Caractéristiques physiques du Déchets de céramiques (< 1.25mm.....	32
-	Tableau II.7 : Analyse granulométrique de sable Alluvionnaire.....	35
-	Tableau II.8 : Caractéristiques physiques du Déchets de céramiques.....	35
-	Tableau II.9 : Analyse granulométrique sable de dune.....	35
-	Tableau II.10 : Analyse granulométrique Déchets de céramique.....	36
-	Tableau II.11 : Préconisations en matière de propreté pour les sables utilisés dans les bétons de sable.....	37
-	Tableau II.12 : Regroupe l'ensemble des résultats relatifs aux essais physiques effectués sur utilisé.....	38
-	Tableau II.13 : Les compositions étudiées sont présentées.....	39



Introduction générale

Introduction générale

Le secteur du bâtiment et des travaux publics connaît un développement continu, accompagné d'une augmentation importante de la consommation des ressources naturelles. Cette situation a conduit les chercheurs à s'intéresser à l'utilisation de matériaux alternatifs et d'ajouts capables d'améliorer les propriétés des matériaux de construction tout en réduisant les impacts environnementaux liés à l'exploitation des ressources naturelles.

Le mortier cimentaire constitue l'un des matériaux les plus utilisés en génie civil, et ses propriétés mécaniques jouent un rôle essentiel dans la qualité et la durabilité des ouvrages. Dans ce contexte, de nombreuses recherches se sont orientées vers l'utilisation de matériaux recyclés et de fibres synthétiques afin d'améliorer les performances du mortier cimentaire.

Parmi ces matériaux figurent les déchets de céramique, qui représentent une ressource valorisable pouvant être réutilisée dans les matériaux de construction au lieu d'être éliminée comme déchet, ainsi que les fibres de polypropylène, reconnues pour leur capacité à limiter la fissuration et à améliorer le comportement mécanique des matériaux cimentaires.

Ainsi, la présente étude vise à évaluer l'influence de l'incorporation des déchets de céramique et des fibres de polypropylène sur les propriétés mécaniques du mortier cimentaire. Pour ce faire, différentes formulations ont été élaborées et soumises à une série d'essais expérimentaux afin d'analyser l'effet de ces ajouts sur les performances et la résistance du mortier, tout en mettant en évidence leur potentiel pour la production de matériaux de construction plus performants et plus durables.

Dans le premier chapitre, une revue bibliographique a été réalisée, portant sur les généralités relatives aux déchets (définitions, typologies et gestion), ainsi que sur les différentes filières de valorisation dans le secteur du génie civil. Une attention particulière a été accordée aux déchets céramiques et aux fibres de polypropylène, en détaillant leurs compositions et leurs caractéristiques. Une synthèse des recherches menées sur les mortiers incorporant des déchets céramiques et renforcés par des fibres de polypropylène est également présentée, mettant en évidence les propriétés des différents mortiers élaborés.

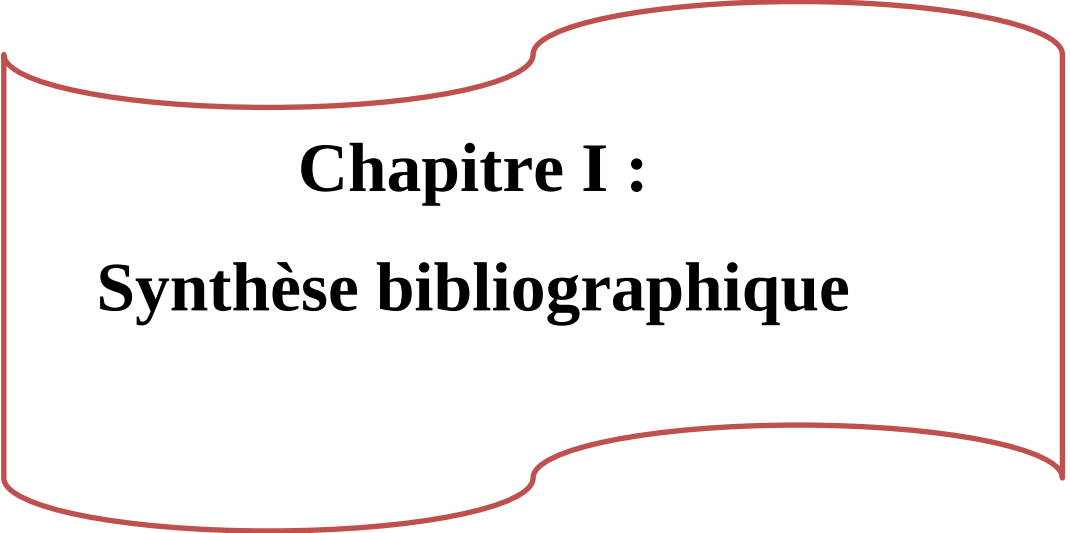
Le deuxième chapitre présente les matériaux utilisés dans l'étude (sable, ciment, eau, déchets de céramique, fibres de polypropylène et adjuvants), ainsi que les formulations expérimentales retenues et les protocoles d'essai appliqués.

Le troisième chapitre est consacré à l'analyse et à l'interprétation des résultats expérimentaux. Il évalue l'influence de la composition des mortiers intégrant des déchets de céramique, selon différents taux de substitution, ainsi que celle des fibres de polypropylène sur les propriétés physico-mécaniques des mortiers.

Enfin, une conclusion générale résume les principaux apports de ce travail et met en évidence la faisabilité de la fabrication d'un mortier intégrant deux types de déchets solides. Des perspectives de recherche sont également proposées pour approfondir les pistes ouvertes par cette étude.

Problématique

Dans quelle mesure l'incorporation des déchets de céramique et des fibres de polypropylène peut-elle contribuer à l'amélioration des propriétés physiques et mécaniques du mortier cimentaire, tout en offrant une solution environnementale durable basée sur la valorisation et la réutilisation de ces déchets dans le domaine de la construction ?



Chapitre I :

Synthèse bibliographique

I .Introduction

Ce chapitre présente une synthèse bibliographique consacrée aux mortiers cimentaires ainsi qu'aux différentes méthodes visant à améliorer leurs performances par l'incorporation de matériaux recyclés et de ressources locales, dans le cadre de la transition vers des matériaux de construction durables et de la réduction de l'impact environnemental du secteur du bâtiment. Il met particulièrement l'accent sur les propriétés et les constituants des mortiers cimentaires, les principes du recyclage des déchets en génie civil, ainsi que sur l'utilisation des déchets céramiques, des fibres de polypropylène, des sables de dunes et des sables alluvionnaires comme ajouts ou substituts partiels dans les formulations cimentaires. Ce travail a pour objectif de mettre en évidence l'influence positive de ces matériaux sur les propriétés physiques et mécaniques des mortiers, tout en contribuant à l'amélioration de la durabilité des matériaux de construction .

I.2.Les mortiers

I.2.1. Le mortier de ciment :

Le mortier de ciment est un matériau de construction constitué d'un mélange homogène de ciment, de sable fin et d'eau. Il est principalement utilisé pour l'assemblage des éléments de maçonnerie tels que les briques, les blocs et les pierres, ainsi que pour les travaux d'enduit, de réparation et de finition. Contrairement au béton, qui contient des granulats grossiers tels que les graviers, le mortier est composé uniquement de particules fines, ce qui lui confère une texture plus homogène ainsi qu'une meilleure maniabilité, aussi bien manuelle que mécanique. Sa fonction principale consiste à assurer la cohésion entre les différents éléments de construction et à répartir uniformément les charges au sein de la structure. Il joue également le rôle d'une couche intermédiaire favorisant l'adhérence, tout en contribuant à l'étanchéité et à une certaine isolation thermique, ce qui améliore la solidité et la durabilité de l'ouvrage. Les proportions des constituants varient selon l'usage prévu, qu'il s'agisse de maçonnerie porteuse, de travaux de finition ou de scellement. Ces variations influencent directement les propriétés mécaniques, l'ouvrabilité et la résistance du mortier. Sur le plan chimique, le mortier repose sur la réaction d'hydratation du ciment au contact de l'eau. Ce processus conduit à la formation de composés hydratés, notamment le silicate de calcium hydraté (C-SH), principal responsable de la résistance mécanique, ainsi que l'hydroxyde de calcium, qui augmente l'alcalinité du milieu. Grâce à sa composition simple, à son faible coût et à ses bonnes performances mécaniques, le

mortier de ciment demeure un matériau essentiel dans le domaine de la construction. Toutefois, l'impact environnemental lié à la production du ciment pousse actuellement la recherche scientifique à développer des formulations plus durables et plus respectueuses de l'environnement [1,2].

I.2.2 Étymologie des mortiers

Le terme latin *mortarium* désignait à l'origine le récipient utilisé par le maçon, puis, par extension, son contenu. Cette distinction s'est conservée jusqu'à aujourd'hui, puisque le mot « mortier » désigne à la fois le contenant et le matériau qu'il renferme. Le terme *mortellier* désignait autrefois le fabricant des auges en pierre appelées mortiers. Par la suite, ce terme a également été employé pour désigner l'ouvrier chargé de broyer certaines pierres dures destinées à la fabrication du ciment [3].

I.2.3 Constituants des mortiers

I.2.3.1 Ciment

Selon la norme européenne NF EN 197-1, le ciment est désigné par le sigle CEM et est généralement utilisé avec des granulats. Mélangé à l'eau, il permet d'obtenir un mortier ou un béton conservant une ouvrabilité suffisante pendant une durée déterminée [3]. Le ciment est principalement constitué de clinker Portland, un matériau à caractère hydraulique. Ce clinker est obtenu par la cuisson d'un mélange composé d'environ 80 % de calcaire et 20 % d'argile, à une température avoisinant les 1450 °C [4]. Au cours de cette cuisson, plusieurs composés hydrauliques se forment dans le clinker[5], notamment :

- le silicate tricalcique (C_3S) .
- le silicate dicalcique (C_2S) .
- l'aluminate tricalcique (C_3A) .
- l'aluminoferrite tétracalcique (C_4AF) .

En ce qui concerne les différents types de ciment, la plupart des ciments normalisés peuvent être utilisés dans la fabrication des mortiers et des bétons. Toutefois, le ciment composite de type CEM II/B, contenant du clinker ainsi que des additions minérales, permet d'améliorer certaines propriétés et de mieux maîtriser les performances finales du matériau [4,5].

I.2.3.2 sable

Les granulats sont définis comme un ensemble de particules inertes dont la taille varie approximativement entre 0 et 40 mm, comprenant les sables et les graviers, d'origine naturelle ou artificielle [5,6]. Toutefois, dans le cas du mortier cimentaire, leur utilisation est généralement limitée à celle du sable fin.

On distingue principalement deux types de granulats : les granulats roulés, issus de dépôts naturels tels que les lits de rivières ou les gisements alluvionnaires, et les granulats concassés, obtenus par le broyage de roches extraites de carrières. Les granulats sont également classés selon leur granulométrie. La courbe granulométrique représente la distribution des particules en fonction de leur taille à travers des tamis de dimensions normalisées. Cette distribution joue un rôle essentiel dans l'amélioration des propriétés du mortier cimentaire, notamment en termes de maniabilité et d'homogénéité.

Dans les mortiers cimentaires de haute qualité, l'amélioration de l'ouvrabilité, c'est-à-dire la plasticité et la fluidité, est recherchée. En effet, le frottement entre les particules limite l'écoulement et influence la compacité, d'où la nécessité d'un contrôle rigoureux du rapport sable/pâte de ciment. De manière générale, seuls des granulats fins, essentiellement du sable, sont utilisés dans le mortier cimentaire, avec une taille maximale des grains généralement inférieure à 4 mm. Le contrôle de la dimension maximale des particules (D_{max}) est essentiel, car une augmentation de celle-ci peut nuire à l'homogénéité et à la maniabilité du mortier.

I.2.3.3 Eau

L'eau de gâchage doit être propre et exempte de matières en suspension au-delà des limites admissibles [7] :

- 2 g/L pour le mortier cimentaire à haute résistance .
- 5 g/L pour le mortier cimentaire à faible résistance.

De même, la teneur en sels dissous ne doit pas dépasser :

- 15 g/L pour le mortier cimentaire à haute résistance .
- 30 g/L pour le mortier cimentaire à faible résistance.

Le mortier cimentaire doit présenter une bonne capacité d'écoulement tout en limitant les phénomènes de ségrégation et de ressuage. L'amélioration de l'ouvrabilité dépend du contrôle du rapport eau/ciment, généralement compris entre 0,40 et 0,55 et peut atteindre dans certains cas 0,55 selon les exigences de performance.

I.2.3.4 Additifs minéraux

Selon la norme EN 197-1, les additions minérales sont définies comme des matériaux minéraux caractérisés et classés, utilisés comme constituants du ciment conformément aux normes européennes, afin d'améliorer ses propriétés et de lui conférer des performances spécifiques [8,9].

- Les additions minérales se divisent en deux catégories principales :
- Particules actives : matériaux présentant des propriétés pouzzolaniques ou des propriétés hydrauliques latentes, tels que les cendres volantes (fly ash), la fumée de silice (silica fume) et le laitier de haut fourneau (blast furnace slag).
- Particules de remplissage (fillers) : comme le filler calcaire (limestone filler), dont le rôle principal est d'améliorer la compacité granulaire et de réduire la porosité de la pâte de ciment, avec parfois des réactions limitées.

➤ Avantages économiques et environnementaux

L'utilisation à grande échelle des additions minérales permet de réduire la consommation de ciment Portland, dont la production est fortement énergivore, entraînant ainsi une diminution de la consommation de combustibles et des émissions de CO₂.

➤ Avantages techniques

- Amélioration des propriétés mécaniques et de la durabilité du mortier grâce à la finesse des particules et aux effets pouzzolaniques.
- Réduction du phénomène de ressuage (bleeding) et augmentation de la cohésion de la pâte de ciment et du mortier.
- Diminution de la chaleur d'hydratation, réduisant ainsi le risque de fissuration thermique.

I.2.3.5 Différents types de mortiers

Le mortier de chaux est facile à travailler et simple à appliquer, mais il durcit plus lentement que le mortier de ciment. Sa résistance se développe surtout grâce à la carbonatation, c'est-à-dire la réaction entre la chaux et le dioxyde de carbone présent dans l'air, qui forme du carbonate de calcium. La chaux hydraulique peut aussi durcir grâce à des réactions avec l'eau [10,11].

➤ **Mortier mixte (chaux-ciment)**

Le mortier mixte est constitué d'un mélange de chaux et de ciment. Il permet de combiner la bonne maniabilité de la chaux avec la résistance et la prise rapide du ciment. Les proportions varient selon le type de travail et les besoins du chantier.

➤ **Mortier réfractaire**

Le mortier réfractaire est fabriqué avec un ciment spécial résistant à la chaleur et des granulats résistants aux hautes températures. Il est utilisé dans les endroits exposés à de fortes chaleurs comme les fours, les cheminées et les barbecues.

➤ **Mortier à prise rapide**

Le mortier à prise rapide contient des liants spéciaux ou des ciments à prise rapide. Il durcit très vite et développe rapidement sa résistance. Il est utilisé pour les réparations urgentes et les travaux rapides.

➤ **Mortier industriel**

Le mortier industriel est un produit prêt à l'emploi fabriqué en usine avec des matériaux contrôlés. Il est vendu en sacs et existe sous plusieurs types : mortier d'étanchéité, mortier d'isolation thermique, mortier de réparation, mortier de ragréage et colles pour carrelage à base de ciment ou de plâtre.

I.3 Utilisations et applications

Le mortier de ciment est largement utilisé dans les travaux de construction et de génie civil. Il intervient notamment dans l'assemblage des éléments de maçonnerie tels que les briques et les blocs, ainsi que dans les travaux d'enduit (finition), la réparation des fissures et le remplissage des vides. Dans certaines applications spécifiques, un mortier de consistance fluide ou modifié par des adjuvants chimiques peut être utilisé pour des opérations d'injection afin de combler les vides dans les sols ou les éléments structuraux, améliorant ainsi la cohésion et les performances mécaniques[1,5].

Caractéristiques techniques

Les propriétés du mortier de ciment varient en fonction des proportions du mélange (ciment, sable, eau) et du type d'adjuvants utilisés. Cependant, il présente généralement les caractéristiques suivantes :

- Une résistance à la compression à 28 jours généralement comprise entre 10 et 30 MPa selon la formulation.

- Une résistance à la flexion comprise approximativement entre 3 et 5 MPa à 28 jours.
- Une résistance à la compression à jeune âge (7 jours), variable selon le type de ciment et les conditions de cure, pouvant dépasser 2 MPa.
- Une ouvrabilité fortement dépendante du rapport eau/ciment.
- Une amélioration possible de la fluidité et des propriétés rhéologiques grâce aux plastifiants et adjuvants chimiques, tout en maintenant l'homogénéité du mélange et en réduisant la ségrégation.

Essais de caractérisation du mortier de ciment

Les propriétés du mortier de ciment sont déterminées à travers plusieurs essais de laboratoire, notamment :

- L'ouvrabilité (workability).
- Le temps de prise et de durcissement.
- La résistance mécanique (compression et flexion).
- La consistance et la fluidité (consistency / flow).

I.4 Essais de résistance mécanique

Les essais de résistance sont généralement réalisés sur des éprouvettes prismatiques de $4 \times 4 \times 16$ cm, conservées dans de l'eau à une température de 20 °C. Les éprouvettes sont soumises à des essais de flexion, puis les demi-prismes obtenus sont utilisés pour les essais de compression.

Les résistances mécaniques augmentent rapidement au jeune âge, puis leur évolution devient de plus en plus lente entre 1 et 28 jours [5,12].

Principaux facteurs influençant la résistance :

- Le type et le dosage du ciment.
- Le rapport eau/ciment.
- La granulométrie et la nature du sable.
- L'énergie de malaxage et de mise en œuvre.
- Les conditions de cure durant les premiers jours.
- Le type d'adjuvants.

I.5 Recyclage

Le recyclage des déchets est un processus qui vise à collecter et à traiter différents types de déchets issus des activités humaines, qu'ils soient domestiques, industriels ou provenant des travaux de construction et de démolition, tels que le plastique, les métaux, le papier, le verre, le

béton et la céramique, afin de les réutiliser dans divers domaines, notamment le secteur du bâtiment. L'utilisation des matériaux recyclés dans la construction est l'une des orientations modernes qui vise à réduire l'épuisement des ressources naturelles et à limiter la pollution environnementale. En effet, de nombreux déchets peuvent être transformés en matériaux réutilisables dans le domaine de la construction. Ainsi, cette approche contribue à soutenir le concept de construction durable en réduisant le volume des déchets, en diminuant les coûts et en améliorant l'efficacité de l'utilisation des ressources naturelles [8,13].



Figure I.1 : recyclage

I.5.1 L'Importance du recyclage

Le recyclage constitue un pilier essentiel du développement durable, et son importance se manifeste à travers trois axes principaux :

I.5.1.1 Environnemental

Il contribue directement à la préservation des ressources naturelles (telles que les forêts, les ressources minérales et les sources d'eau) en limitant leur épuisement. Il joue également un rôle crucial dans la lutte contre le changement climatique en réduisant les émissions de gaz à effet de serre issues des processus de production traditionnels.

I.5.1.2 Économique

Il agit comme un moteur de l'économie verte, en ouvrant de nouvelles perspectives d'emploi dans les domaines du tri et de la transformation. De plus, il permet de réduire les coûts opérationnels des industries en fournissant des matières premières à des prix inférieurs à ceux des matières vierges.

I.5.1.3 Social

Il contribue à sensibiliser la société aux enjeux environnementaux et garantit le droit des générations futures à accéder aux ressources naturelles, réalisant ainsi le principe de « justice intergénérationnelle » dans l'utilisation et la gestion des richesses de la planète.

I.5.2 Types de recyclage :

I.5.2.1 Recyclage mécanique

Cette méthode est la plus couramment utilisée pour traiter les matériaux solides tels que le plastique, le verre, les métaux et le papier. Elle repose sur des procédés physiques sans modification de la structure chimique de la matière et comprend plusieurs étapes essentielles :

- Tri et nettoyage : ils permettent d'éliminer les impuretés et les éléments indésirables.
- Traitement physique : tel que le broyage, le concassage ou le broyage fin, voire la fusion selon les matériaux.
- Re-fabrication : transformation des matériaux en granulés ou en formes réutilisables dans la production de nouveaux produits.

I.5.2.2 Recyclage chimique

Il s'agit d'une technologie avancée utilisée pour traiter les matériaux complexes difficiles à recycler mécaniquement, notamment certains types de plastiques. Cette méthode repose sur la décomposition de la structure moléculaire des matériaux à travers des réactions chimiques, telles que la pyrolyse ou la gazéification.

Elle comprend notamment :

Décomposition moléculaire : rupture des liaisons chimiques et transformation de la matière en composés ou molécules de base.

Récupération des matières premières : obtention de matières premières essentielles réutilisables dans les industries chimiques et pétrochimiques.

I.5.2.3 Recyclage organique

Ce type de recyclage concerne les déchets biodégradables, tels que les restes alimentaires et les résidus agricoles. Il repose sur des processus biologiques naturels visant à promouvoir la durabilité environnementale.

- Il comprend : Décomposition et fermentation : transformation de la matière organique par l'action des micro-organismes.

- Produits obtenus : production de compost (améliorant la fertilité des sols) ou génération de biogaz comme alternative aux combustibles fossiles.

I.6 Valorisation des déchets en Algérie

La gestion et la valorisation des déchets en Algérie constituent aujourd'hui un enjeu majeur, à la fois environnemental et économique. Les estimations disponibles indiquent une production annuelle d'environ 13,5 millions de tonnes de déchets ménagers, ce qui témoigne d'un niveau de génération relativement élevé par habitant. Dans ce contexte, la problématique des déchets s'impose comme une préoccupation centrale des politiques publiques de développement durable. Par ailleurs, le processus de valorisation des déchets ne se limite pas à une simple démarche de réduction des impacts environnementaux. Il s'inscrit également dans une dynamique plus large de transition vers une économie circulaire, en offrant des perspectives d'investissement prometteuses. En effet, la valorisation des déchets peut contribuer significativement à la création de valeur ajoutée, au développement de nouvelles filières économiques, ainsi qu'au renforcement de l'économie nationale dans une optique de durabilité.

I.6.1 Source de déchets

Les sources des déchets sont très diverses et peuvent être classées comme suit les déchets et les sous-produits issus des procédés de fabrication .

- les déchets générés par les activités visant à réduire le gaspillage de l'eau et à limiter la pollution de l'air .
- les déchets liés aux différentes étapes du cycle de vie du produit.

La récupération et le traitement de ces déchets contribuent au renforcement de la protection de l'environnement. Ils participent également au soutien des politiques de développement durable et à la réalisation de leurs objectifs.

I.7 Valorisation des déchets en génie civil

La valorisation des déchets dans le domaine du génie civil constitue un secteur de grande importance, car les matériaux recherchés ne sont généralement pas soumis à des exigences de qualité très strictes. La valorisation et le recyclage des déchets présentent deux impacts majeurs : un impact environnemental, consistant à réduire les dommages liés à leur élimination, et un impact économique, permettant leur exploitation dans l'industrie ou dans le secteur de la

construction au lieu de leur gaspillage. Ces matériaux se caractérisent également par leur disponibilité en grandes quantités et leur faible valeur marchande. Le béton et le mortier sont considérés comme des matériaux particulièrement adaptés à l'incorporation des déchets, en raison de leur composition complexe et de leur large utilisation. Ainsi, si les déchets peuvent être intégrés dans le béton et le mortier, cela signifie qu'il est possible d'en recycler de grandes quantités de manière efficace [8,4].

I.8 Céramique et les déchets de céramique (DC)

La céramique (ou le grès cérame) est considérée comme l'un des matériaux les plus anciens utilisés par l'être humain à travers l'histoire. Elle englobe une large gamme de produits, allant de la poterie traditionnelle fabriquée artisanalement aux céramiques avancées utilisées dans des applications industrielles de haute technologie, notamment dans les secteurs de l'aéronautique, de l'électronique et du biomédical. Dans le domaine du bâtiment, les matériaux céramiques sont largement utilisés sous forme de carreaux, de briques, de tuiles, ainsi que de divers éléments structurels et décoratifs. Toutefois, ces activités génèrent des quantités importantes de déchets, qu'il s'agisse de résidus de fabrication, de matériaux cassés lors du transport ou encore de déchets issus des opérations de démolition et de réhabilitation menées dans le cadre de travaux de rénovation ou de réaménagement [13].

I.8.1 Céramique

Les céramiques sont des matériaux solides, fragiles, inorganiques et non métalliques, obtenus par des procédés de chauffage et de refroidissement à haute température. Ces matériaux comprennent principalement les oxydes, les carbures, les nitrures et les silicates. Les céramiques se distinguent par leur grande dureté, leur forte résistance à la chaleur et à la corrosion, ainsi que par leur faible densité. Cependant, elles sont fragiles et peuvent se fracturer sous l'effet de contraintes mécaniques importantes. Elles sont largement utilisées dans divers domaines, notamment la construction, la dentisterie, l'industrie électronique, le secteur de la santé et les appareils électroménagers [14].



Figure I.2: Exemple des céramiques traditionnelles

I.8.1.1 Technologie de fabrication d'une céramique

Le terme « céramique » ne désigne pas une composition chimique spécifique, mais plutôt un matériau généralement polycristallin et densifié, obtenu par un procédé d'élaboration particulier. Dans le langage courant, il est souvent associé à des objets du quotidien tels que les carrelages, les sanitaires ou la vaisselle. Cependant, dans le domaine des céramiques techniques, notamment en électronique, la maîtrise des procédés d'élaboration permet d'obtenir des propriétés optimisées adaptées à une large gamme d'applications, allant de la résistance mécanique jusqu'aux propriétés électriques, diélectriques et magnétiques. Les principales étapes de fabrication des céramiques sont résumées dans l'organigramme suivant .

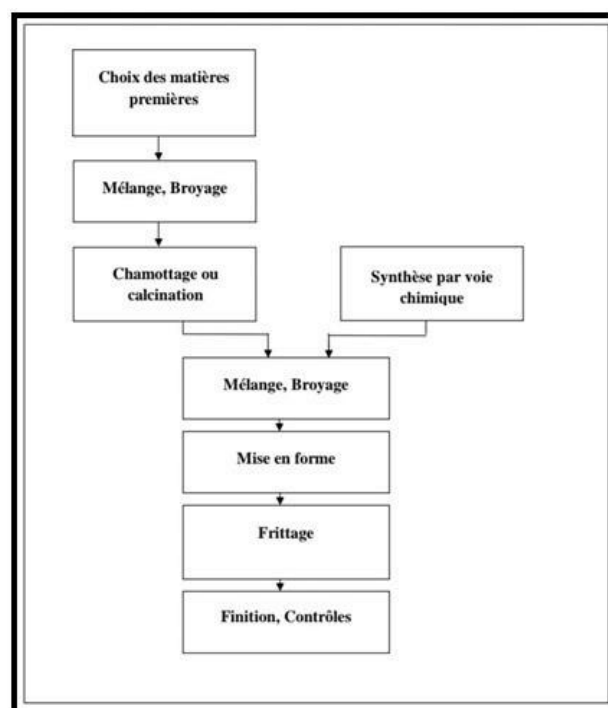


Figure I.3 : Différentes étapes d'élaboration des céramiques.

I.8.1.2 Types de céramiques

- 1) Céramique traditionnelle (poterie) : élaborée à partir d'argile puis cuite à des températures généralement comprises entre 800 et 1 200 °C. Elle présente une microstructure relativement plus grossière que celle des céramiques techniques avancées. Elle est utilisée dans la fabrication des poteries, des articles décoratifs et des carreaux .
- 2) Grès : céramique cuite à des températures pouvant atteindre environ 1 200 °C. Il se distingue par sa durabilité, sa faible porosité et sa bonne résistance thermique, ce qui le rend adapté à la fabrication d'ustensiles de cuisine et de revêtements .
- 3) Porcelaine : céramique blanche vitrifiée élaborée principalement à partir de kaolin, avec l'ajout de feldspath et de quartz. Elle est cuite à des températures comprises entre 1 200 et 1 500 °C et utilisée dans la fabrication de la vaisselle, des objets décoratifs et des vases.
- 4) Porcelaine tendre : semblable à la porcelaine dure, mais contenant davantage de phase vitreuse et parfois du feldspath finement broyé. Elle se caractérise par une grande finesse, une certaine translucidité et une bonne aptitude au façonnage avant cuisson .

I.8.1.3 Céramiques techniques avancées

Les céramiques techniques avancées sont élaborées à partir d'oxydes, tels que l'alumine (Al_2O_3) et l'oxyde de zirconium (ZrO_2), ainsi que de composés non oxydés, comme les carbures et les nitrures. Elles sont utilisées dans des applications industrielles de haute technologie, notamment dans les domaines de l'aérospatiale, de l'électronique et du biomédical. Les céramiques destinées aux revêtements peuvent également être classées selon leur taux d'absorption d'eau en deux catégories :

- Faible absorption d'eau : adaptée aux environnements humides, tels que les salles de bains et les cuisines .
- Forte absorption d'eau : utilisée principalement dans des environnements secs et pour certaines applications architecturales .

Les céramiques présentent plusieurs propriétés physicochimiques importantes, notamment une grande dureté, une excellente résistance chimique, un point de fusion élevé ainsi qu'une bonne capacité d'isolation thermique et électrique. Cependant, elles se caractérisent également par une grande fragilité et une faible ductilité .

I.8.2 Les déchets céramiques (DC)

Les déchets céramiques sont définis comme les résidus issus des procédés de fabrication ou de broyage de produits céramiques tels que les briques, les carrelages, les appareils sanitaires, entre autres. En raison de leur faible biodégradabilité et de leur forte résistance aux conditions environnementales naturelles, ils sont généralement éliminés par enfouissement dans des décharges, ce qui aggrave progressivement les problèmes environnementaux. La réutilisation des déchets céramiques a suscité un intérêt croissant ces dernières années, notamment dans les domaines de la construction et du génie civil. Cette pratique contribue à réduire l'exploitation des ressources naturelles et à promouvoir la durabilité, grâce à leur valorisation en tant que matériaux de remplissage dans les mélanges cimentaires ou comme substituts partiels dans la fabrication du béton et du mortier .



Figure I.4 : Déchets céramique

I.8.3 Utilisation des déchets céramiques comme matières premières dans le mortier

L'utilisation des déchets céramiques comme matériau d'ajout ou comme substitut partiel dans les mortiers cimentaires constitue l'une des principales applications du recyclage dans le secteur de la construction, en raison des avantages techniques et environnementaux qu'elle peut offrir [9,14].

- Granulométrie des déchets céramiques recyclés : Les déchets céramiques sont généralement utilisés sous forme de poudre ou de particules fines dont la taille des particules est inférieure à 1 mm, ce qui facilite leur incorporation dans les mélanges cimentaires et favorise la cohésion du mortier.
- Propriétés techniques : L'incorporation de fines particules de déchets céramiques peut améliorer certaines propriétés mécaniques et physiques du mortier, notamment la résistance à la compression à des taux de substitution appropriés, la réduction du retrait ainsi que l'amélioration de la résistance aux variations thermiques. Elle peut également contribuer à

réduire la chaleur d'hydratation grâce à la diminution de la teneur en ciment, ce qui limite le risque de fissuration thermique, notamment dans les bétons à forte teneur en liant.

- Taux d'utilisation : Les études montrent que la poudre de céramique recyclée peut être utilisée comme substitut partiel du ciment dans les mortiers cimentaires, tout en assurant des performances mécaniques et une durabilité satisfaisantes, en fonction du taux de substitution adopté et de la nature du mélange .
- Applications pratiques : Ces matériaux sont utilisés dans la fabrication de mortiers à hautes performances, de matériaux de construction écologiques ainsi que de matériaux d'isolation thermique. Les déchets céramiques peuvent également être valorisés dans la production de mousses céramiques .
- Avantages environnementaux et économiques : Le recyclage des déchets céramiques contribue à réduire la consommation des ressources naturelles, à diminuer les coûts de production et à limiter l'accumulation des déchets dans les décharges, ce qui s'inscrit dans une démarche de développement durable dans le secteur de la construction.

I.9 Les fibres

Les fibres sont des matériaux à géométrie allongée, caractérisés par un faible diamètre par rapport à leur longueur. Les fibres utilisées dans les mortiers présentent généralement des longueurs comprises entre 1 et 60 mm, avec un rapport longueur/diamètre variant entre 30 et 300. Les formes et les caractéristiques géométriques des fibres varient en fonction des performances mécaniques et du comportement recherchés dans le mortier. Les fibres courtes et discontinues sont parmi les plus utilisées, en raison de leur aptitude à être mélangées et réparties de manière homogène dans la matrice cimentaire. Lorsqu'elles sont correctement dosées et dispersées, elles contribuent à l'amélioration de certaines propriétés mécaniques et du comportement global du matériau [15,16].

I.9.1 Types de fibres

Les fibres utilisées dans le domaine de la construction se distinguent selon leur nature, leur origine ainsi que leurs propriétés physiques et mécaniques. Elles peuvent être classées comme suit :

- Les fibres métalliques : comprenant principalement les fibres d'acier et de fonte, elles sont utilisées pour améliorer les performances mécaniques et limiter la fissuration.

- Les fibres organiques : telles que les fibres de polypropylène, de polyester, de polyamide et de polyéthylène, elles se caractérisent par leur faible masse volumique et leur bonne résistance chimique.
- Les fibres minérales : comme les fibres de verre et, dans certains cas, de carbone, elles présentent de très bonnes propriétés mécaniques et thermiques. L'amiante a également été utilisée par le passé, mais elle est aujourd'hui interdite dans de nombreux pays.
- Les fibres végétales : notamment le jute, le sisal, le coco, le bois, le bambou et le palmier, elles sont appréciées pour leur disponibilité et leur caractère écologique.
- Les fibres animales : incluant la laine, la soie et les poils animaux, elles sont utilisées dans des applications spécifiques afin d'améliorer certaines propriétés physiques des matériaux.

I.9.2 Fibres de polypropylène

Les fibres de polypropylène sont considérées comme des matériaux polymériques synthétiques qui ont suscité un intérêt croissant dans le domaine du génie des matériaux et de la construction, en raison de leur capacité à améliorer les performances des matériaux cimentaires et à renforcer leur durabilité. Ces fibres sont fabriquées à partir du polymère de polypropylène, soumis à des procédés de fabrication et à des traitements spécifiques lui conférant des propriétés physiques et mécaniques adaptées aux applications de l'ingénierie. Bien que le développement du polypropylène remonte aux années 1950, son utilisation comme élément de renforcement dans les mortiers cimentaires et les bétons ne s'est généralisée qu'à partir des années 1970, après avoir démontré son efficacité dans la limitation de la fissuration précoce et l'amélioration du comportement des matériaux cimentaires sous différentes conditions de service. [15,16].



Figure I.5: fibres de polypropylène

I.9.3 Avantages des fibres de polypropylène

Les fibres de polypropylène se distinguent par des propriétés physiques qui leur confèrent de nombreuses applications industrielles et textiles. Elles font partie des fibres synthétiques les plus légères, avec une densité d'environ $0,91 \text{ g/cm}^3$, ce qui permet de produire des matériaux légers. Elles sont également pratiquement non hygroscopiques, ce qui rend leurs propriétés stables aussi bien en milieu sec qu'humide. De plus, elles présentent une conductivité thermique relativement faible par rapport à certaines autres fibres, ce qui les rend adaptées aux applications d'isolation et aux vêtements de protection contre la chaleur. Ainsi, ces fibres combinent légèreté, stabilité en présence d'humidité et propriétés d'isolation thermique relatives.

I.9.4 Inconvénients des fibres de polypropylène

Malgré les nombreux avantages qu'elles offrent dans l'amélioration des propriétés du mortier et du béton, les fibres de polypropylène présentent certaines limites techniques. En effet, une augmentation excessive de leur dosage peut entraîner une diminution de l'ouvrabilité du mortier, rendant ainsi les opérations de malaxage et de mise en œuvre plus difficiles. De plus, le module d'élasticité de ces fibres demeure inférieur à celui des fibres métalliques, ce qui limite leur efficacité dans certaines applications structurelles nécessitant une résistance mécanique élevée. Par ailleurs, une mauvaise répartition des fibres au sein du mélange peut provoquer la formation d'amas, affectant négativement l'homogénéité du matériau ainsi que ses performances finales.

I.9.5 Propriétés des fibres de polypropylène

- Réduction de la perméabilité à l'eau et aux liquides dans le mortier, ce qui améliore sa durabilité et sa résistance aux agressions environnementales.
- Amélioration de la durabilité du mortier en limitant la pénétration de l'humidité et des agents agressifs.
- Diminution des microfissures, en particulier durant les premières phases de durcissement du mortier.

- Amélioration de la résistance au feu et réduction des effets des températures élevées sur la structure du mortier.
- Augmentation de la résistance aux contraintes et à la fatigue, avec une amélioration des propriétés en traction, en flexion et en torsion.
- Amélioration du comportement à la déformation et de la ténacité du matériau.
- Haute résistance chimique aux acides et aux alcalis, garantissant une bonne stabilité dans les milieux agressifs .

I.9.6 Applications des fibres de polypropylène

Amélioration des performances du mortier ordinaire en termes de durabilité et de réduction des fissures. Utilisation dans le domaine de la construction afin d'augmenter la durée de vie des structures et d'améliorer leur résistance. Incorporation de granulés de polystyrène dans les mortiers de construction afin d'alléger le matériau et d'améliorer son isolation thermique [26].

I.10 Sable de dunes

I.10.1 Définition d'un sable de dunes

Les sables présents dans les dunes mobiles se caractérisent principalement par des particules siliceuses fines et relativement homogènes en termes de dimensions. Sous l'effet des agents éoliens, ces particules s'accumulent pour former des dunes de hauteurs variables, comme l'ont indiqué Fookes et Higginbotham en 1968 .

Le Sahara se compose d'environ 40 % de montagnes désertiques, 15 % de plaines arides et 30 % de dunes sableuses, tandis que le reste est constitué de sebkhas, de chotts et d'autres formations naturelles. Bien que cette vaste région couvre près du tiers du continent africain, elle demeure encore insuffisamment dotée en infrastructures et en équipements de base. Ces données mettent en évidence l'importance du développement des réseaux routiers sahariens ainsi que la nécessité de valoriser les ressources locales, notamment le sable, dans les études visant à améliorer les techniques et les matériaux de construction adaptés au milieu désertique [17,18].

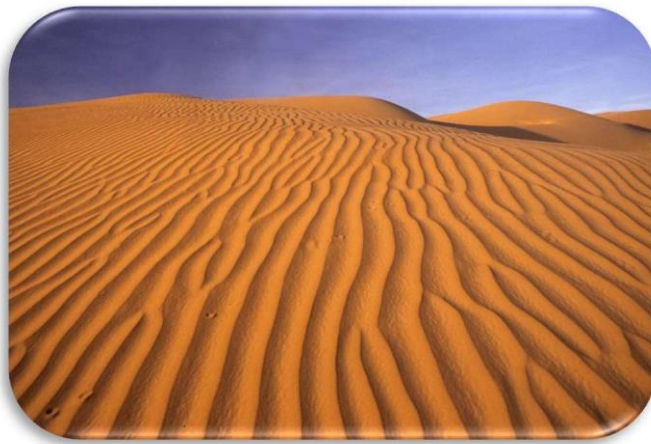


Figure I.6 : Sable de dune

I.10.2 Mécanismes de formation de dune

Les dunes de sable se forment dans des milieux caractérisés par une abondance de matériaux sableux non stabilisés par la couverture végétale, tels que les régions désertiques, les zones littorales ainsi que les lits des cours d'eau en période d'étiage. Le vent constitue l'agent principal de leur mise en place, en assurant l'érosion éolienne des surfaces meubles et le transport des particules sableuses, notamment par déflation, saltation et, dans une moindre mesure, reptation. Les grains de sable se déplacent principalement par saltation le long du sol, avant de se déposer lorsque la vitesse du vent diminue ou lorsque sa capacité de transport devient insuffisante. L'accumulation s'effectue préférentiellement sur le versant sous le vent, où les conditions aérodynamiques favorisent la sédimentation. Sous l'effet combiné de l'érosion sur le versant exposé au vent et de l'accumulation sur le versant opposé, les dunes migrent progressivement dans le sens du vent dominant, assurant ainsi leur déplacement continu au cours du temps.

I.10.3 Types des dunes

I.10.3.1 Les avant-dunes

Les avant-dunes sont des formations sableuses littorales situées en bordure de plage, se présentant sous forme de bourrelets parallèles au trait de côte. Elles se caractérisent par une relative stabilité, assurée par la fixation des sables grâce à la végétation côtière, notamment des espèces pionnières telles que les oyats. Ces formations constituent un élément essentiel du système sédimentaire côtier, car elles entretiennent avec la plage des interactions dynamiques fondées sur des échanges continus de sédiments sous l'action combinée des agents marins et éoliens. On distingue les avant-dunes actives des dunes plus anciennes situées en arrière, parfois

soumises à l'érosion. La formation des avant-dunes résulte de l'accumulation des sables dans la partie supérieure de la plage, suivie de leur stabilisation progressive par des espèces végétales adaptées aux conditions extrêmes du milieu littoral, notamment la salinité, la force des vents et la mobilité permanente des sédiments.

I.10.3.2 Les falaises dunaires

Les falaises dunaires ne constituent pas de véritables dunes au sens géomorphologique du terme. Elles correspondent plutôt à une forme de relief issue de l'érosion marine de dunes sableuses anciennes, autrefois stabilisées par un couvert végétal herbacé ou forestier. Avec le temps, ces processus ont favorisé le développement d'un sol sableux relativement évolué, parfois accompagné d'une fine couche organique.

I.10.3.3 Les dunes perchées

Les dunes perchées, appelées en anglais Cliff-top dunes, sont des formations sableuses qui se développent au sommet des falaises côtières à forte pente. Elles sont alimentées par des sédiments sableux transportés par le vent depuis la zone intertidale du littoral ou à partir des matériaux des versants, notamment dans le cas des falaises à caractère dunaire sableux.

I.10.3.4 Les cordons dunaires artificiels

Les cordons dunaires artificiels sont des aménagements réalisés par l'homme afin de protéger les zones côtières et les espaces urbanisés contre l'érosion marine et éolienne. Ces structures nécessitent un entretien régulier pour garantir leur stabilité et préserver leur intégrité morphologique. En l'absence de maintenance, elles se dégradent progressivement sur quelques décennies. Il existe également des formes semi-naturelles de ces cordons, correspondant à des avant-dunes ayant fait l'objet d'interventions humaines partielles, puis restaurées et stabilisées grâce à des techniques de génie écologique et à la plantation d'oyats, comme à Sangatte, dans le nord de la France.

I.10.4 Physique des dunes

Nous avons tous déjà observé, que ce soit à travers des photographies ou des images télévisées, ces vastes étendues de dunes sableuses qui évoquent une véritable mer de sable au cœur des déserts. Façonnées par l'action du vent, ces formations présentent des formes répétitives et s'étendent sur de grandes surfaces. Leur mobilité peut constituer une menace pour les zones agricoles, les réseaux routiers et même les agglomérations urbaines. Toutefois, les

mécanismes physiques régissant leur déplacement et leur évolution restent encore partiellement méconnus.

Les dunes sableuses se répartissent principalement en trois types :

La dune en croissant, ou barkhane, est une dune en forme de croissant dont la concavité est orientée à l'opposé de la direction du vent dominant. Elle se forme généralement dans des environnements où l'apport en sable est limité et sous l'influence de vents unidirectionnels.

La dune parabolique est une formation sableuse asymétrique en forme de fer à cheval, dont la concavité est orientée dans le sens du vent. Elle est souvent partiellement ou totalement stabilisée par la végétation, ce qui la rend beaucoup moins mobile. Contrairement à la barkhane, son orientation par rapport au vent est inversée. Enfin, les dunes longitudinales, appelées siouf (ou sif), sont des formations allongées en forme de sabre. Elles se caractérisent par des ondulations longitudinales qui s'affinent progressivement vers une extrémité, en accord avec la direction des vents dominants.

I.10.5 Utilisation du sable de dunes

I.10.5.1 Diverses utilisations

Le sable constitue un élément essentiel des processus sédimentaires et représente une ressource naturelle de grande valeur économique, caractérisée par la diversité de ses usages. Il intervient notamment dans les travaux de remblai, sert de granulat principal dans la fabrication du béton et des matériaux de construction, et est également exploité sous forme de sable siliceux dans diverses industries de transformation. Ces sables industriels, autrefois désignés sous le terme de « sables industriels », constituent une matière première indispensable à la production du verre, à la fabrication des moules et des noyaux en fonderie, ainsi qu'à la production de céramiques et de mortiers spéciaux. Par ailleurs, le sable constitue un milieu naturel favorisant la concentration des minéraux lourds transportés par les eaux courantes, contribuant ainsi à la formation d'accumulations minérales à forte valeur économique. Parmi ces minéraux figurent notamment l'or, le diamant, la cassitérite (minerai d'étain), la magnétite (oxyde de fer) et l'ilménite (oxyde de titane et de fer). Les dépôts riches en ilménite, communément appelés « sables noirs », présentent un intérêt industriel majeur. Ils sont notamment utilisés pour la production de pigments destinés aux peintures blanches et constituent une source importante d'extraction du titane métallique, comme c'est le cas sur certaines côtes australiennes. En outre, les sables jouent un rôle hydrogéologique et environnemental significatif, dans la mesure où ils peuvent constituer des formations perméables favorables à l'accumulation des eaux

souterraines ainsi qu'à la migration et au stockage des hydrocarbures dans certains contextes géologiques. Dès lors, une réglementation stricte de leur exploitation s'avère nécessaire afin de préserver des équilibres écologiques souvent fragiles. En effet, une extraction non contrôlée peut entraîner une érosion accrue des littoraux, liée à l'interruption de l'alimentation sédimentaire naturelle, ainsi que la dégradation des systèmes aquifères continentaux .

I.11 Sable Alluvionnaire

Le sable est un matériau naturel résultant des processus d'altération et de désagrégation des roches. Il est transporté par les cours d'eau tels que les rivières et les oueds, où il se dépose progressivement sur leurs berges lors des crues, ainsi qu'aux embouchures des fleuves, formant ainsi des deltas. Ce matériau est largement utilisé dans le domaine de la construction, à condition de respecter les spécifications techniques et les normes en vigueur [31]. Dans le cadre de cette étude, nous avons utilisé le sable de « Djamaa », provenant de la wilaya d'El M'Ghair [18,19].



Figure I.7: Sable Alluvionnaire

I.11.1 Propriétés techniques

- Origine et composition :
- Le sable sédimentaire est principalement constitué de quartz, avec des proportions variables de minéraux secondaires tels que des micas, des feldspaths et des argiles, en fonction des caractéristiques géologiques de la région d'origine .
- Forme des grains :
- Les grains présentent généralement une forme arrondie ou subarrondie, résultant des processus de transport hydraulique, ce qui contribue à améliorer l'ouvrabilité des mortiers cimentaires .
- Propreté et granulométrie :

- La propreté et la granulométrie du sable sont évaluées à l'aide de l'équivalent de sable (Sand Equivalent - SE selon la norme NF P18-598), qui permet de déterminer la teneur en fines argileuses et leur influence sur les propriétés mécaniques et la maniabilité du mortier.

I.11.2 Ses applications en génie civil

Il peut être utilisé dans le mortier et le béton, à condition de respecter la teneur minimale en matières fines et de s'assurer de l'absence de matières organiques susceptibles d'altérer la réaction du ciment . Dans le mortier, il est adapté aux travaux d'enduit (plâtrage) grâce à la finesse de ses particules et à ses propriétés plastiques, contribuant également à améliorer la consistance et la stabilité du mélange. Dans les travaux de remblayage, sa cohésion peut être renforcée par son mélange avec des matériaux granulaires grossiers en couches compactées, ce qui permet d'améliorer les propriétés mécaniques et les performances du remblai

I.11.3 Situation en Algérie

On exploite de grandes quantités de sable limoneux dans les oueds du nord de l'Algérie, notamment dans les régions de Chlef et de la Soummam, où ils sont utilisés dans les projets de construction et de travaux routiers. Des études de terrain, telles que l'étude [35] portant sur les sables de la région de Blida, ont mis en évidence l'importance du lavage préalable de ces matériaux afin d'éliminer les particules fines et d'améliorer leur qualité et leur propreté. Par ailleurs, le contrôle précis de la teneur en limon et en argile est essentiel lors de leur utilisation dans la fabrication des mortiers de ciment .

I.12 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une revue bibliographique des matériaux de construction, où il a été démontré que les propriétés du mortier cimentaire dépendent essentiellement de la nature et des proportions de ses principaux constituants, à savoir le ciment, le sable et l'eau. Les études ont également montré que l'incorporation d'additions minérales et de fibres contribue efficacement à l'amélioration des performances mécaniques et au renforcement de la durabilité. L'importance de la valorisation des déchets, notamment les déchets céramiques, a aussi été soulignée dans le cadre des approches de développement durable et d'économie circulaire. Par ailleurs, les résultats ont mis en évidence que les propriétés physiques des sables, en particulier la granulométrie et la teneur en fines argileuses, influencent directement la qualité du mortier. Cela nécessite un contrôle rigoureux ainsi qu'un traitement préalable des granulats afin de garantir les performances techniques requises. En conclusion, l'amélioration des propriétés du mortier repose sur la maîtrise optimale des constituants de base et sur l'adoption de solutions innovantes et durables basées sur le recyclage.

Chapitre II :

**Matériaux et procédures
Expérimentales**

II.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous aborderons, dans une première partie, les caractéristiques des différents matériaux utilisés dans la formulation du mortier cimentaire renforcé de fibres de polypropylène et de déchets céramiques. Cette analyse portera notamment sur la masse volumique, la granulométrie, la propreté des matériaux, ainsi que sur la composition chimique et minéralogique, en plus d'autres propriétés physiques et mécaniques pertinentes.

Dans la deuxième partie, nous présenterons les protocoles des différents essais réalisés dans le cadre de l'étude expérimentale, afin d'assurer une analyse rigoureuse et objective des résultats obtenus, ainsi qu'une étude de l'impact de l'ajout des fibres de polypropylène et des déchets céramiques sur les propriétés et les performances du mortier cimentaire.

II.2 Matériaux utilisés

II.2.1 Sables

Deux types de sables ont été utilisés dans cette étude, alluvionnaire et dunaire.

Le sable alluvionnaire provenant de la sablière Djamaa, de la Willaya d'El Mghair (Voire Figure II.1). Sa masse volumique apparente est 1.69 g/cm^3 et sa masse volumique absolue : 2.5 g/cm^3 . Sa granulométrie varie de 0 à 5mm.

Le sable de dune utilisé est un sable provenant de la région d'El oued (Voire Figure II.2). Sa masse volumique apparente est 1.57 g/cm^3 et sa masse volumique absolue : 2.66 g/cm^3 . Sa granulométrie varie de 0 à 0.63 mm Les Figure II.1 ; II.2 montrent des tas des sables utilisés.



Figure II.1 : sable alluvionnaire



Figure II.2 : sable de dune

II.2.2 Ciment

Le ciment utilisé dans l'ensemble des essais expérimentales est un ciment portland composé CEM II / B-L 42.5N selon la norme NA 442 [20] le ciment a été fourni par le Groupe Industriel des Ciments d'Algérie (LAFARGE), , Algérie (Figure II.3) [21].



Figure II.3 : le ciment utilisé

Les caractéristiques physico-chimiques du ciment inscrit sur la fiche technique sont données

Dans les Tableaux II., 1. 2. 3. 4, (Annexe 2)

Tableau II.1. Résistance à la compression (NA 234)

Age	2 jours	28 jours
Résistance à la Compression (MPa)	Différent ≥ 10	≥ 42.5

Tableau II.2. Analyses chimiques (NA 5042)

Paramètre	Valeur
Pert au feu (%)	10.0 ± 2
Résidus insoluble (%)	1.35 ± 0.65
Teneur sulfates SO_3 (%)	2.5 ± 0.5
Teneur en oxyde de magnésium Mg (%)	1.7 ± 0.5
Teneur chlorures (%)	$0.02 - 0.05$
Teneur équivalent en alcalins (%)	$0.3 - 0.75$

Tableau II.3. Composition minéralogique du ciment (CLINKER).

Minéraux	Pourcentage
C_3S	60 ± 3.0
C_2S	15 ± 3.0
C_3A	7.5 ± 1.0
C_4AF	11 ± 1.0

Tableau II.4. Caractéristiques physiques du ciment MATINE

Caractéristique	Valeurs	Unité
S.S. Blaine (NA 231)	3700 – 5200	Cm ² /g
Consistance normale	26.5 ± 2.0	%
Début de prise (NA 230)	150 ± 30	Min
Fin de prise (NA 230)	230 ± 50	Min
Retrait à 28 jours	< 1000	mm/m
Expansion	≤ 0.3	Mm
Masse volumique apparente	975	kg/m ³
Densité spécifique	3080	kg/m ³

II.2.3 Les fibres polypropylène

Les fibres utilisées dans cette étude expérimentale sont des fibres polypropylène commercialisées par la société Algérienne Zone Industrielle de **SETIF** conçu spécialement pour l'amélioration des propriétés du béton et de mortier, notamment leur la résistance[22].

**Figure II.4:** Les fibres polypropylène utilisées

II.2.3.1 Caractéristiques physiques et mécaniques des fibres utilisées

Les Caractéristiques physiques et mécaniques des fibres utilisées sont résumées dans le tableau suivant.

Tableau II.5: Caractéristiques physiques et mécaniques des fibres polypropylène.

Densité g/cm ³	Longueur mm	Section	Epaisseur	Poids spécifique g / cm ³	Point de fusion	Alun à la rupture	Résistance à la traction N/mm ²	Module d'Young MPA
0,8 à 1,00	12/18 nominale	Circulaire	32 microns	0,91	160° C	40 %	450	3700

II.2.4 Déchets de céramiques (< 1.25mm)

Les déchets de céramique utilisés dans cette étude proviennent des résidus d'un magasin de vente de matériaux de construction. Ils ont été collectés, puis concassés et broyés à l'aide d'un broyeur afin d'obtenir la finesse (Figure II.5). La classe granulaire de ces déchets de céramique recyclés utilisés dans ce composite est comprise entre 0 et 1,25 mm . Les propriétés physiques de ces matériaux sont récapitulées dans le Tableau II.6, tandis que la Figure II.5 illustre leur analyse granulométrique.



Figure II.5 : Déchets de céramiques (<1.25mm.)

Tableau II.6 : Caractéristiques physiques du Déchets de céramiques (< 1.25mm).

Masse volumique absolue (g/cm ³)	2.30
Masse volumique apparente (g/cm ³)	1.34
Granulométrie	< 1.25 mm
Module de finesse	0.85

II.2.5 Caractéristiques physiques

- Les Caractéristiques physiques sont comme suivies :

II.2.5.1. Les masses volumiques

- **La masse volumique apparente**

Cet essai est régi par la norme NF P18-554 [23] elle est définie comme étant la masse de l'unité de volume apparente du corps, c'est-à-dire celle du volume constitué par la Matière du corps et les vides qu'elle contient [24].

$$\gamma = \frac{M}{V} \quad (II.2)$$

Où :

γ : Masse volumique apparente.

M : Masse du matériau.

V : Volume total du matériau.

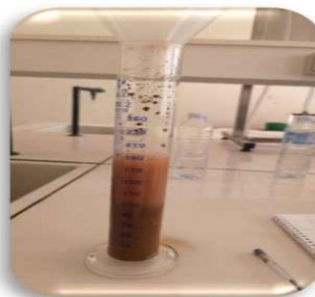
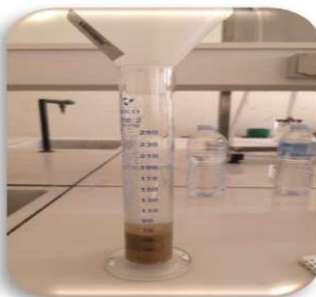


Figure II.6 : Masse volumique apparente

- **La masse volumique absolue**

Cet essai est régi par la norme NF P18-301 [37] elle est définie comme étant la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat sans tenir compte des vides pouvant exister entre les grains.

$$\gamma_s = \frac{M_s}{V_s} \quad (II.2)$$

Où

γ : Masse volumique apparente.

M : Masse du matériau.

V : Volume total du matériau.



Figure II.7 : Masse volumique absolue

II.2.5.2 Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon. Cet essai est défini par la norme NF P 18 560 [25].

En utilisant un tamis séquentiel comme indiqué sur Figure II.8.



Figure II.8 : Tamis d'analyse granulométrique.

II.2.5.3. Module de finesse

Les granulats doivent présenter une granulométrie telle que les éléments fins ne soient ni en excès, ni en trop faible proportion. S'il y a trop de grains fins, il sera nécessaire d'augmenter le dosage en Eau du béton de sable tandis que si le granulat est trop gros, la plasticité du mélange sera insuffisante et rendra la mise en place difficile. Le caractère plus ou moins fin d'un granulat peut être quantifié par le calcul du module de finesse (MF). Celui-ci correspond à la somme de pourcentages des refus cumulés, ramenés à l'unité, pour les tamis de modules 0.16 ; 0.315 ; 0.63 ; 1.25 ; 2.5 et 5.

Ce paramètre est en particulier utilisé pour caractériser la finesse des granulats à béton du sable.

$$M_f = \frac{\sum \text{des refus (en\%)} \text{ sur les tamis } 0.16; 0.315; 0.63; 1.25; 2.5; \text{ et } 5}{100}$$

1.8 et 2.2 : le sable est à majorité de grains fins.

2.2 et 2.8 : on est en présence d'un sable préférentiel.

2.8 et 3.3 : le sable est un peu grossier. Il donnera des bétons du sable résistants mais moins maniables.

Dans l'analyse granulaire suivante, toutes les tables pèsent 1000 g.

Tableau II.7 : Analyse granulométrique de sable Alluvionnaire.

Tamis (mm)	Refus partiels (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamis (%)
5	0	0	0	100
2.5	20	20	2	98
1.25	58	78	7.8	92.2
0.63	184	262	46.2	73.8
0.315	436	698	79.8	30.2
0.16	228	926	92.6	7.4
0.08	50	976	67.6	2.4

Tableau II.8 : Analyse granulométrique sable de dune.

Tamis (mm)	Refus partiels (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamis (%)
1.25	0	0	0	100
0.63	37	37	3.7	96.3
0.315	395	432	43.2	56.8
0.16	357	789	78.9	21.1
0.08	187	976	97.6	2.4

Tableau II.9 : Analyse granulométrique Déchets de céramiques.

Tamis (mm)	Refus partiels (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamis (%)
0.63	0	0	0	100
0.315	345	345	34.5	65.5
0.16	158	503	50.3	49.7
0.08	330	833	83.3	26.7

II.2.5.3 Equivalent de sable

Cet essai, référencé par la norme NF P18 598 [39], est utilisé pour évaluer la propreté des matériaux entrant dans la composition du béton de sable. On lave l'échantillon selon un processus normalisé et on laisse reposer le tout. Au bout de 20 min, on mesure les éléments suivants (Figure II.9). La hauteur h1 : matériaux propres + éléments fins.

La hauteur h2 : matériaux propres seulement.

On en déduit l'équivalent des matériaux qui, par convention, est :

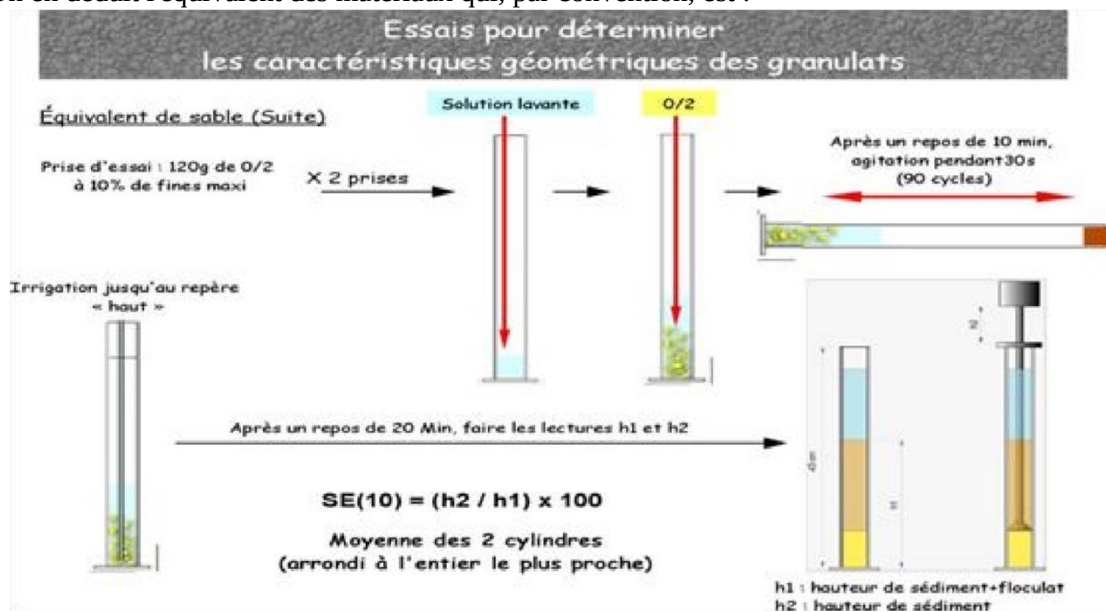


Figure II.9 : Schémas de mesure d'équivalent de sable.

Selon que la hauteur h2 est mesurée visuellement ou à l'aide d'un piston, on détermine : équivalent de sable visuel ESV et équivalent de sable au piston (ESP).

Conformément à la norme NF P18 598 [26], les recommandations concernant la propreté des Sables utilisés dans les bétons de sable sont présentées dans le tableau II.10.

Tableau II.10 : Préconisations en matière de propreté pour les sables utilisés dans les bétons de sable.

N°	Equivalent de sable (%)	Observations
1	ESV < 65 ESP < 60	Sable argileux ; risque de retrait ou de gonflement de béton.
2	65 < ESV < 75 60 < ESP < 70	Sable légèrement argileux ; de propreté admissible.
3	75 < ESV < 85 70 < ESP < 80	Sable propre, convenant au béton à haute qualité,
4	ESV > 85 ESP > 80	Sable très propre absence de plasticité de béton.

II.2.5.4 Synthèse des résultats

Tableau II.11 : Regroupe l'ensemble des résultats relatifs aux essais physiques effectués sur utilisé.

Caractéristiques	Masse Volumique apparente (g/cm^3)	Masse Volumique absolue (g/cm^3)	MF	ESV (%)
Sable Alluvionnaire (SA)	1.88	2.66	2.28	76.85
Sable de Dune (SD)	1.69	2.61	1.26	85

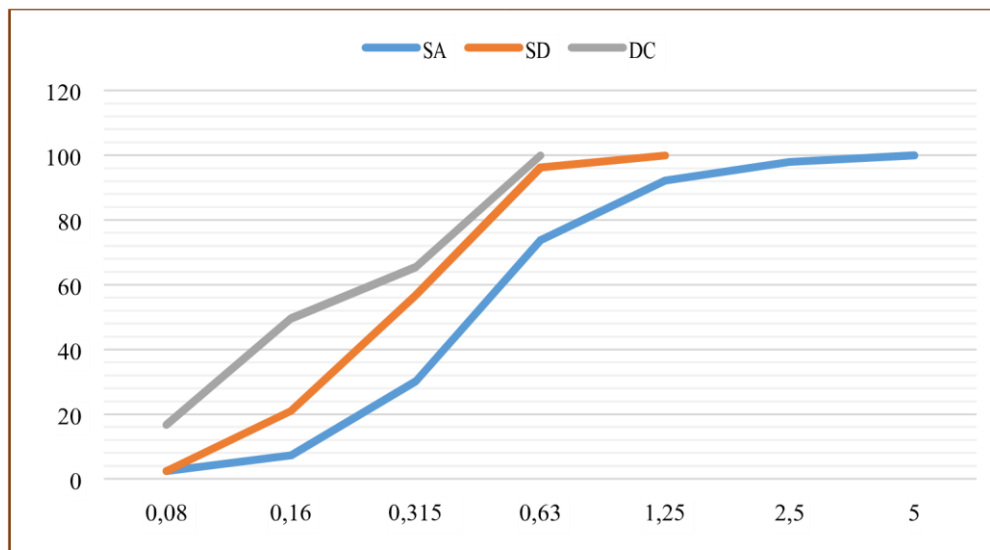


Figure II.10 : Courbes granulométriques des sables utilisés et des granulats de céramiques.

II.2.6 Eau de gâchage

L'eau de gâchage joue deux rôles essentiels dans la préparation du béton de sable : d'une part, un rôle physique en assurant la fluidification du mélange, et d'autre part, un rôle chimique en participant au processus d'hydratation. L'eau utilisée pour le gâchage provient directement du réseau public d'eau potable.

II.2.7 les Atdjuvan

Le SikaPlast 40 Pro est un adjuvant superplastifiant de nouvelle génération utilisé pour améliorer les propriétés du béton et du mortier. Il permet d'augmenter leur fluidité et leur ouvrabilité, tout en réduisant la quantité d'eau nécessaire au mélange, ce qui contribue à l'amélioration des résistances mécaniques et de la durabilité du matériau. Ce produit est particulièrement adapté aux bétons prêts à l'emploi et aux travaux nécessitant des performances élevées [27].



Figure II.11 : Super plastifiant

Tableau II.12 : Caractéristiques techniques super plastifiant (Annexe 2)

Caractéristique	Aspect et Couleur	Densité	Valeur pH	Teneur en Ions Chlorure	Dosage
Résultats	Liquide brun clair à foncé	$1,055 \pm 0,015$	$4,5 \pm 1,0$	0,1 %	0 ,7 % à 2,5 %

II.3 Formulations

II.3.1 Formulations du mortier cimentaire témoin (0%SD, 0%DC)

Pour la composition du mortier cimentaire de référence, nous avons adopté un dosage en ciment et en sable conforme à celui d'un mortier cimentaire normalisé selon la norme EN 196-1 [28]. Cela signifie qu'une part de ciment est mélangée avec trois parts de sable.

En ce qui concerne le dosage en eau, nous avons utilisé un rapport eau/ciment ($E/C = 0,6$), ce qui signifie que pour chaque unité de ciment, 0,6 unité d'eau a été utilisée dans le mélange [29].

II.3.2. Compositions des mortiers cimentaires

Tableau II.13 : Les compositions étudiées sont présentées dans le Tableau suivant :

Désignation du mélange	Ciment (kg)	Eau (kg)	Sable Alluvionnaire (SA) (kg)	Sable De dune (SD) (kg)	Fibres Polypropylène (kg)	Déchets de céramiques (DC) (kg)	Super Plasti-fiant (kg)	E/C
Formulation 01 (0%SD, 0%DC)	400	240	1200	/	/	/	/	0.6
Formulation 02 (0%SD, 8%DC)	400	240	1104	/	/	87,5	4	0.6
Formulation 03 (0%SD, 16%DC)	400	240	1008	/	/	177,5	4	0.6
Formulation 04 (0%SD, 24%DC)	400	240	912	/	/	265	4	0.6
Formulation 05 (10%SD, 0%DC)	400	240	1080	116,16	/	/	4	0.6
Formulation 06 (15%SD, 0%DC)	400	240	1020	174,24	/	/	4	0.6
Formulation 07 (20%SD, 0%DC)	400	240	960	232,32	/	/	4	0.6
Formulation 08 (0%SD, 0%DC)	400	240	1200	/	1	/	4	0.6
Formulation 09 (0%SD, 8%DC)	400	240	1104	/	1	87,5	4	0.6

Formulation 10 (0%SD, 16%DC)	400	240	1008	/	1	177,5	4	0.6
Formulation 11 (0%SD, 24%DC)	400	240	912	/	1	265	4	0.6
Formulation 12 (10%SD, 0%DC)	400	240	1080	116,6	1	/	4	0.6
Formulation 13 (15%SD, 0%DC)	400	240	1020	174,24	1	/	4	0.6
Formulation 14 (20%SD, 0%DC)	400	240	960	232,32	1	/	4	0.6

II.3.3. Procédure expérimentale

II.3.3.1. Fabrication du mortier cimentaire

II.3.3.1.1. Pesage des composants du mortier cimentaire

Dans un premier temps nous avons pesé individuellement tous les composants du mortier cimentaire pour chaque formulation du Tableau II.12.

céramiques



Ciment



Sable Alluvionnaire



Sable de dune



Fibre



eau de gâchage



Adjuvant

Figure II.12 : Pesage des composants du mortier cimentaire.

3.3.1.2. Malaxage des composants du mortier cimentaire

Le malaxage des constituants, Le processus de mélange a été fait à la main dans l'ordre suivant :



Figure II.13: Matériaux utilisés secs

Mettre les ingrédients secs. (Ciment, et sable Alluvionnaire, déchets de céramique et Sable de dune) dans le bol et mélanger jusqu'à ce qu'ils soient homogènes.



Figure II.14 : Mélanger les matières sèches

Ajoutez l'eau progressivement tout en continuant à mélanger, puis ajoutez les fibres :



FigureII.15 : Ajouter de l'eau en mélangeant

II.3.3.1.3. Coulage des éprouvettes : Dans ce travail nous avons confectionné 14 éprouvettes de dimensions (4 x 4 x 16) cm



FigureII.16 : Moule de l'éprouvette utilisée

II.3.3.1.4. Etapes de coulage des éprouvettes

a) Première étape : graissage des moules

Les moules sont enduits d'huile de moteur usagée (brûlée) afin d'éviter l'adhérence du mortier de ciment aux parois des moules (voir figure II.17).



Figure.II.17 : Lubrifie de moule

b) **Deuxième étape** : Versez le mélange dans le moule et remplissez-le au texte comme indiqué sur la Figure :



Figure.II.18: Verser la mimolette de la quantité dans le moule

c) **Quatrième étape** : Ensuite, nous terminons de le remplir et de le secouer à nouveau de la même manière, puis j'ai nivelé la surface et laissé sécher pendant 24 h.



Figure.II.19 : Remplissage du modèle terminé

e) **Cinquième étape** : En effet pour chaque formulation, le démoulage des éprouvettes s'est fait après 24h. Nous retirons les échantillons, les nettoyons et y écrivons leur contenu(Fig.II.20). Puis on les met dans l'eau pendant 28 jours.



Figure.II.20 : Nettoyage des échantillons

II.3.4 Les essais réalisés

II.3.4.1 Essais réalisés à l'état frais

II.3.4.1.1 Détermination de la masse volumique

Cette méthode permet de déterminer la masse volumique du mortier de ciment frais, ce qui est essentiel pour évaluer sa qualité et ses performances. En remplissant un récipient de volume et de masse connus avec le mortier de ciment frais, puis en mesurant la différence de masse entre le récipient plein et vide, on peut calculer la masse du mortier de ciment. En divisant cette masse par le volume du récipient, on obtient la masse volumique du mortier de ciment frais, exprimée en kg/m^3 . Cela permet de comparer la masse volumique mesurée à la formulation théorique afin d'évaluer la conformité du mortier de ciment préparé.

L'uniformisation de la surface du mortier de ciment est réalisée, puis le pesage est effectué à l'aide d'une balance en grammes (voir figure II.21).



Figure.II.21 : Rasage et pesage .

II.3.4.2 Essais réalisés à l'état durci

En effet les éprouvettes ont subi une cure de 28 jours dans l'eau pour les permettre de bien sécher dans un milieu naturel dont le ph est sensiblement égal à 7 sans être influer par des facteurs externes.



Figure. II .22 : Échantillons après leur sortie de l'eau.

II.3.4.2.1.Essai de traction par flexion

Des éprouvettes de dimensions $(4 \times 4 \times 16)$ cm ont été utilisées pour la détermination de la résistance à la traction. Les mesures sont réalisées à l'aide d'une presse conforme aux normes en vigueur, équipée d'un dispositif de flexion à trois points. Cet essai permet de déterminer la résistance à la traction par flexion du mortier cimentaire étudié et constitue l'essai le plus couramment utilisé. Il consiste à rompre une éprouvette sous l'effet de la flexion.

La valeur de la résistance retenue correspond à la moyenne des contraintes de rupture de trois éprouvettes.

Les résistances à la traction du mortier cimentaire durci à 7 et 28 jours ont été évaluées à l'aide d'une machine d'essai de flexion capable d'appliquer des charges allant jusqu'à 20 kN, équipée d'un dispositif de flexion à trois points (Figure II.23). La valeur de la résistance retenue correspond à la moyenne des contraintes de rupture de trois éprouvettes.



Figure .II.23 : cement compression machine

d'appui distants de 100 mm. Le point central supérieur est soumis à une force croissante jusqu'à l'effondrement de l'éprouvette.



Figure II.24 : Essai de traction par flexion

II.3.4.2.2. Essai de compression

L'essai de chargement en trois points est utilisé pour déterminer la résistance à la flexion du mortier cimentaire jusqu'à la rupture complète des éprouvettes moulées. La résistance à la compression est également déterminée à partir des résultats des essais de compression réalisés sur les échantillons. Une charge progressivement croissante est appliquée à chaque éprouvette jusqu'à atteindre l'état de rupture, correspondant à la charge maximale enregistrée lors de l'essai. La valeur moyenne de la contrainte de rupture des trois éprouvettes est considérée comme l'indicateur de la résistance à la compression du matériau.

Une machine d'essai de compression hydraulique capable d'appliquer des charges allant jusqu'à 1500 kN, et équipée d'un dispositif spécifique pour tester les blocs de mortier cimentaire, a été utilisée afin d'évaluer la résistance à la compression après des périodes de cure de 7 et 28 jours.

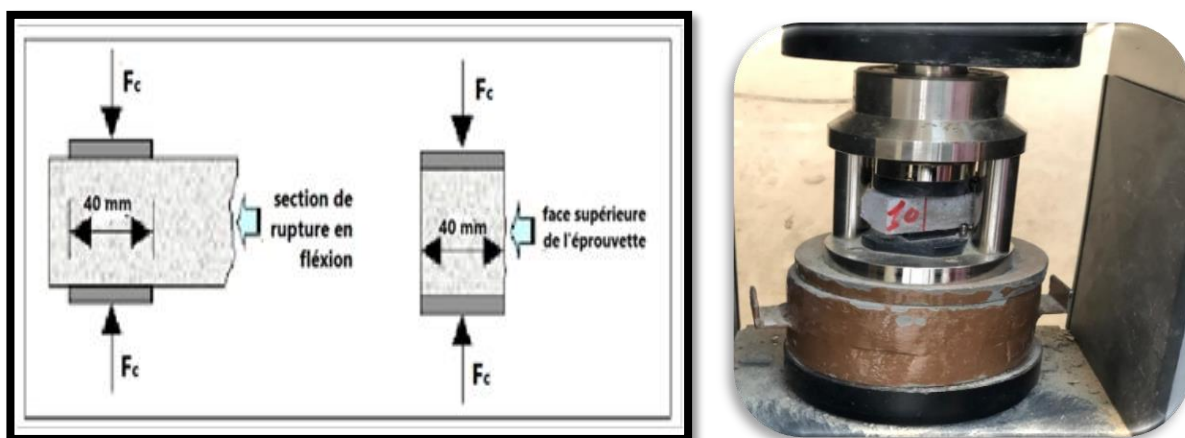


Figure II.25 : Essai de compression

II.3.4.2.3. Essai d'absorption d'eau par capillarité

Le coefficient d'absorption est généralement déterminé en séchant les éprouvettes jusqu'à l'obtention d'une masse constante, puis en les immergeant dans l'eau et en mesurant le gain de masse, exprimé en pourcentage par rapport à la masse sèche.

L'essai d'absorption par immersion a été réalisé selon une méthodologie rigoureuse. Des éprouvettes de mortier cimentaire, de dimensions $(4 \times 4 \times 16)$ cm, ont d'abord été séchées à l'étuve jusqu'à atteindre une masse constante. Elles ont ensuite été totalement immergées dans l'eau afin d'assurer leur saturation complète, permettant ainsi d'évaluer leur capacité d'absorption.

L'objectif de cet essai est de déterminer la quantité d'eau que les éprouvettes peuvent absorber après une immersion totale pendant une durée donnée.



Figure II.26. L'essai d'absorption d'eau par.

II.3.4.2.4. Essai d'auscultation dynamique

La vitesse des ondes ultrasoniques constitue un indicateur essentiel permettant d'évaluer qualitativement les propriétés du matériau ainsi que sa structure interne. La propagation de ces ondes à travers le mortier de ciment reflète le temps nécessaire à leur passage au sein de la pâte de ciment durcie. Elle dépend fortement du module d'élasticité des constituants du mortier ainsi que de leurs proportions.

Le principe de la méthode ultrasonique repose sur la mesure du temps de propagation des impulsions à travers le mortier de ciment, ce qui permet d'apprécier son homogénéité et sa qualité. Les appareils utilisés pour cet essai, disponibles sur le marché, se composent principalement d'un générateur d'impulsions et d'un récepteur, comme illustré à la figure (II.27).



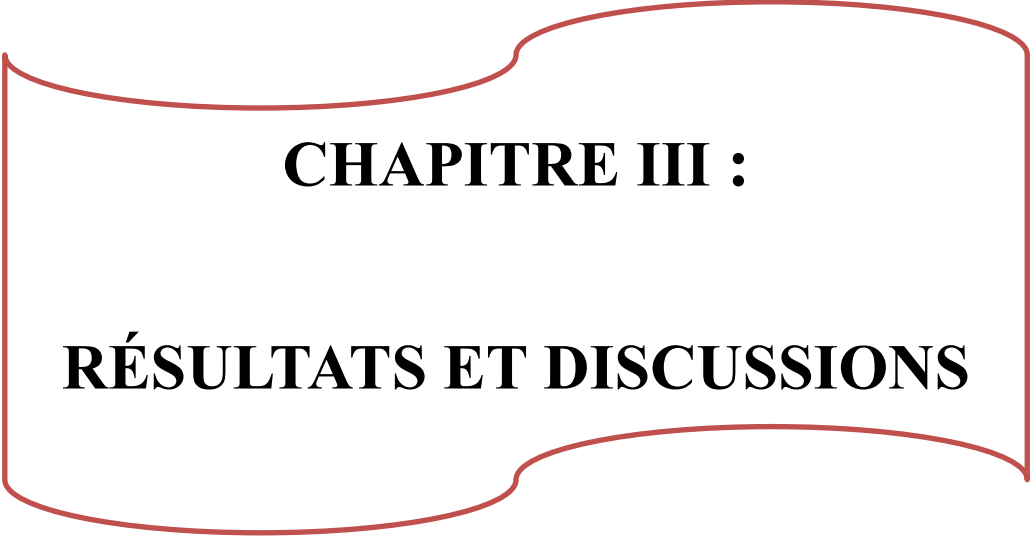
Figure.II.27.Essai d'auscultation dynamique.

II.4. Conclusion

Ce chapitre a été consacré à la présentation et à la description détaillée des matériaux utilisés dans la préparation d'un mortier cimentaire amélioré, renforcé par des fibres de polypropylène et incorporant des déchets céramiques en substitution partielle des matériaux conventionnels. L'étude a permis de déterminer les propriétés physiques et chimiques de ces constituants, ainsi que de décrire avec précision les procédures expérimentales adoptées, selon une méthodologie rigoureuse.

Par ailleurs, la conception des mélanges a été fondée sur les caractéristiques physicomécaniques des matières premières, afin d'assurer leur compatibilité et d'optimiser les performances du mortier final. Les formulations ont été réalisées conformément aux normes et aux standards en vigueur dans ce domaine.

Après la phase de caractérisation du mortier cimentaire, qu'il soit renforcé par des fibres et des déchets ou non, le chapitre suivant sera consacré à la présentation et à l'analyse approfondie des résultats obtenus, dans le but d'évaluer l'influence de ces ajouts sur les différentes propriétés du mortier.

A red decorative frame with a wavy, hand-drawn style border. It has a central rectangular area with rounded corners and a small notch at the top center and bottom center.

CHAPITRE III :

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

III.1. INTRODUCTION

Dans le présent chapitre, nous exposons les différents résultats expérimentaux relatifs aux essais effectués sur des mortiers renforcés par des fibres de polypropylène et incorporant des déchets de céramique, conformément aux modes opératoires mentionnés au chapitre II. Une analyse et une discussion des résultats, suivies d'une comparaison avec ceux reproduits dans la littérature, y seront également présentées.

III.2. MORTIER À L'ÉTAT FRAIS

III.2.1. La masse volumique

La masse volumique des différents mortiers obtenus est représentée dans la figure 1 :

a) Taux de déchets de céramiques (DC=0)

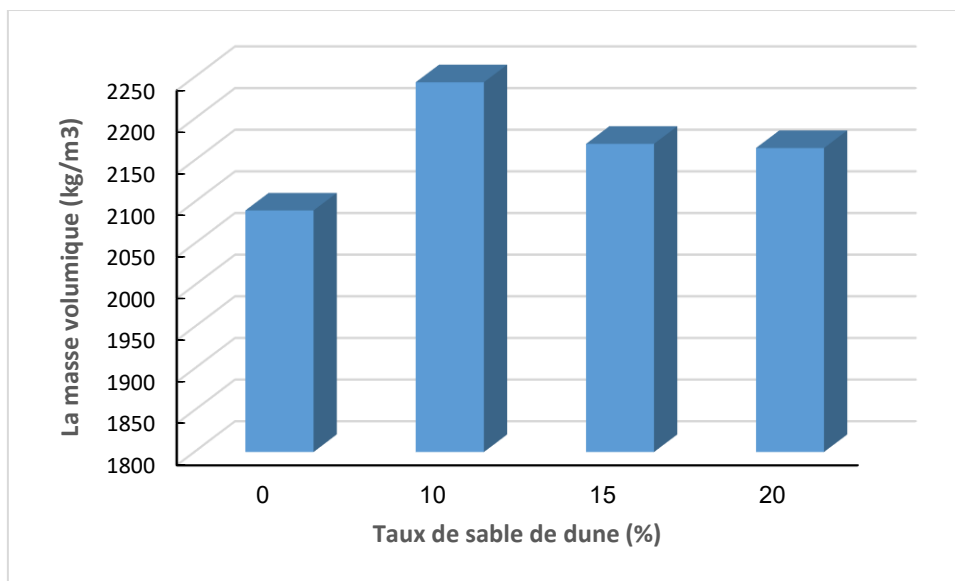


Figure. III.1 Les masses volumiques de mortiers à base de sable de dune

La figure 3.1 montre l'évolution de la masse volumique des mortiers en fonction du taux de sable de dune. On observe que la masse volumique augmente entre 0 % et 10 % de sable de dune, passant d'environ 2110 kg/m³ à 2270 kg/m³, ce qui indique une amélioration de la compacité du mortier. Cette augmentation peut être attribuée à un meilleur remplissage des vides grâce à la finesse des particules du sable de dune.

Au-delà de 10 %, la masse volumique diminue légèrement pour les dosages de 15 % et 20 %, tout en restant supérieure à celle du mélange témoin (0 % SD). Cette baisse peut s'expliquer par une

augmentation des vides ou une modification de l'arrangement granulaire lorsque la proportion de sable de dune devient plus élevée.

b) Taux de sable de dune (SD=0)

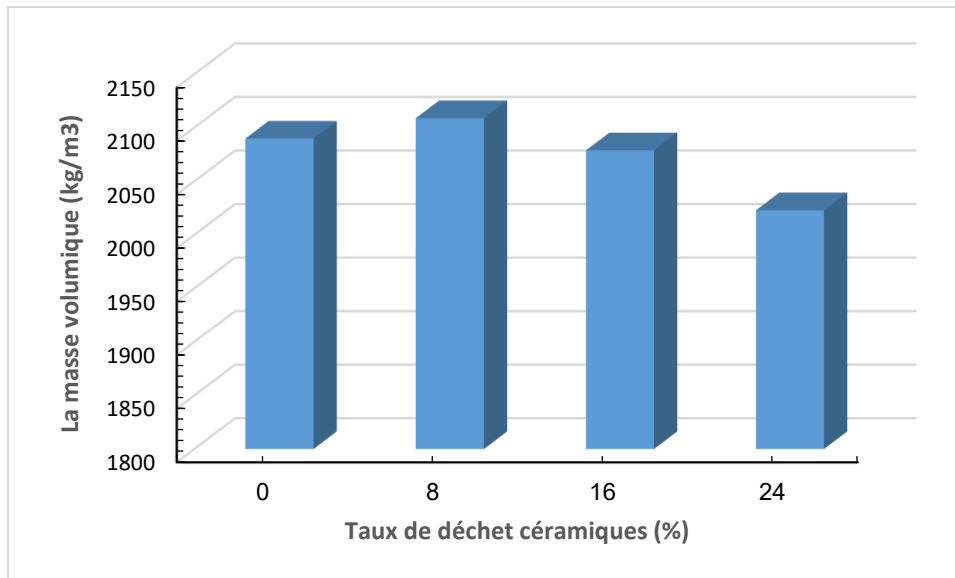


Figure. III.2 Les masses volumiques de mortiers à base de déchets de céramiques

La figure 3.2 présente l'évolution de la masse volumique des mortiers en fonction du taux de déchets céramiques.

Les résultats montrent que la masse volumique augmente légèrement pour un taux de substitution de 8 %, atteignant sa valeur maximale (environ 2120 kg/m³) par rapport au mortier témoin (2100 kg/m³). Cette amélioration peut être liée à un meilleur compactage de la matrice et à un effet de remplissage des particules fines des déchets céramiques.

En revanche, lorsque le taux de déchets céramiques augmente à 16 % puis 24 %, une diminution progressive de la masse volumique est observée. Cette baisse peut s'expliquer par la densité plus faible des déchets céramiques comparée aux constituants conventionnels et/ou par une augmentation de la porosité interne du mortier.

III.3. MORTIER A L'ÉTAT DURCI

III.3.1. Résistance à la compression

a) Taux de déchets de céramiques (DC=0)

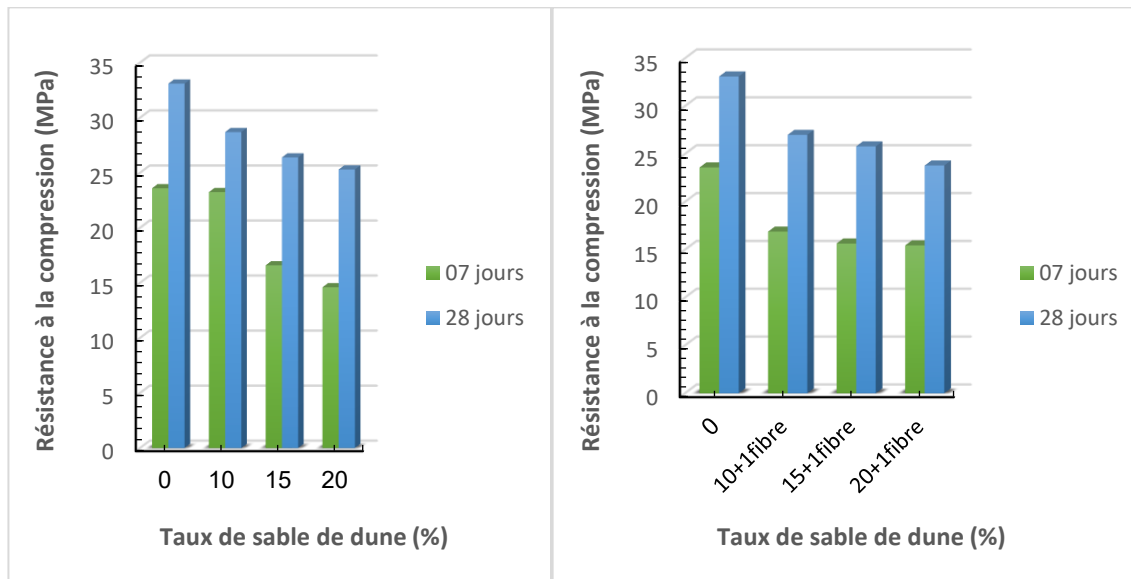


Figure. III.3 Relation entre le taux de déchets de céramiques et la résistance à la compression à 7 et 28 jours.

La figure 3.3 montre que la résistance à la compression augmente entre 7 et 28 jours pour tous les mélanges. Cette évolution est normale et s'explique par la poursuite de l'hydratation du ciment, qui améliore progressivement les propriétés mécaniques du matériau.

Le béton témoin (0 % de sable dunaire) présente les meilleures performances, avec une résistance d'environ 24 MPa à 7 jours et 34 MPa à 28 jours. Ces valeurs servent de référence pour évaluer l'effet du remplacement du sable de dune.

L'augmentation du taux de sable dunaire entraîne une diminution progressive de la résistance à la compression. Cette baisse est observée aussi bien à 7 qu'à 28 jours et devient plus importante lorsque le taux de substitution atteint 15 % et 20 %.

Pour les mélanges contenant des fibres, la même tendance générale est observée. Toutefois, les fibres semblent contribuer à limiter la perte de résistance, notamment pour les taux de substitution élevés, en améliorant la cohésion de la matrice.

Dans l'ensemble, les résultats indiquent que l'incorporation de sable dunaire réduit les performances mécaniques du béton, mais que des taux de substitution modérés, de l'ordre de 10 %, permettent de conserver des résistances relativement satisfaisantes tout en valorisant ces sables dans le matériau

b) Taux de sable de dune (SD=0)

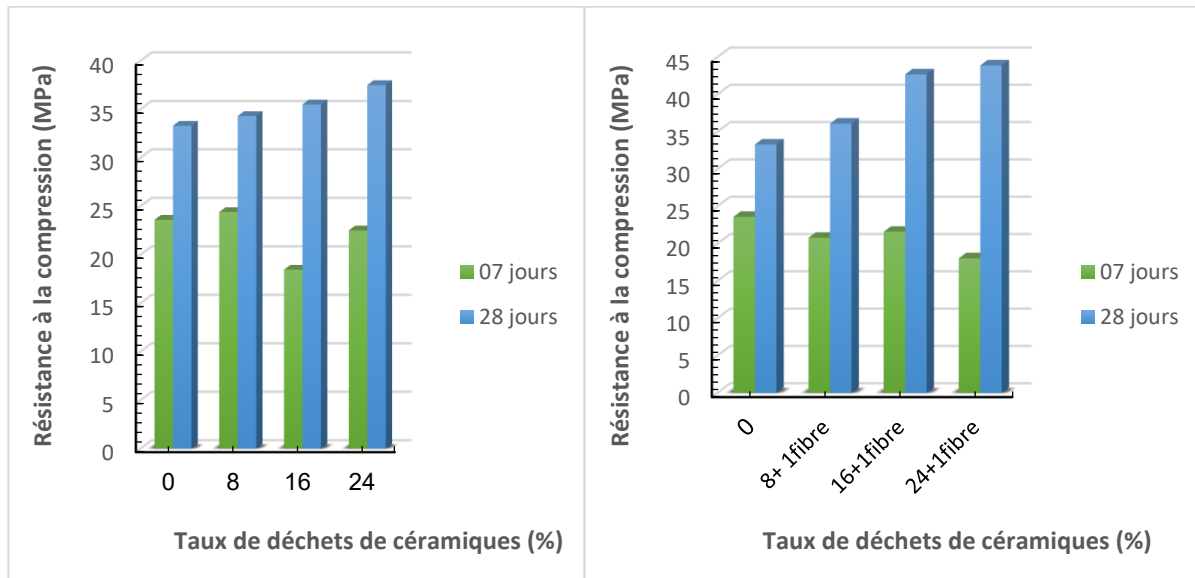


Figure. III.4 Relation entre le taux de déchets de céramiques et la résistance à la compression à 7 et 28 jours.

La figure 3.4 montre la variation de la résistance à la compression à 7 et 28 jours en fonction du taux de déchets de céramiques, avec et sans ajout de fibres.

À 7 jours, la résistance présente une évolution irrégulière en fonction du taux de substitution. Sans fibres, on observe une légère amélioration à 8 %, suivie d'une baisse à 16 %, puis d'une nouvelle augmentation à 24 %. Cela traduit une influence encore instable des déchets de céramiques sur les performances mécaniques à jeune âge.

À 28 jours, la résistance à la compression augmente de manière plus régulière avec l'augmentation du taux de déchets de céramiques. Le béton témoin présente les valeurs les plus faibles, tandis que les mélanges contenant des taux plus élevés affichent de meilleures performances, indiquant un effet bénéfique à long terme.

L'ajout de fibres améliore significativement la résistance à la compression à 28 jours pour tous les dosages étudiés. Les meilleures performances sont obtenues pour les mélanges contenant 16 % et 24 % de déchets de céramiques, avec des résistances atteignant environ 44 à 45 MPa.

III.3.2. Résistance à la traction par flexion

a) Taux de déchets de céramiques (DC=0)

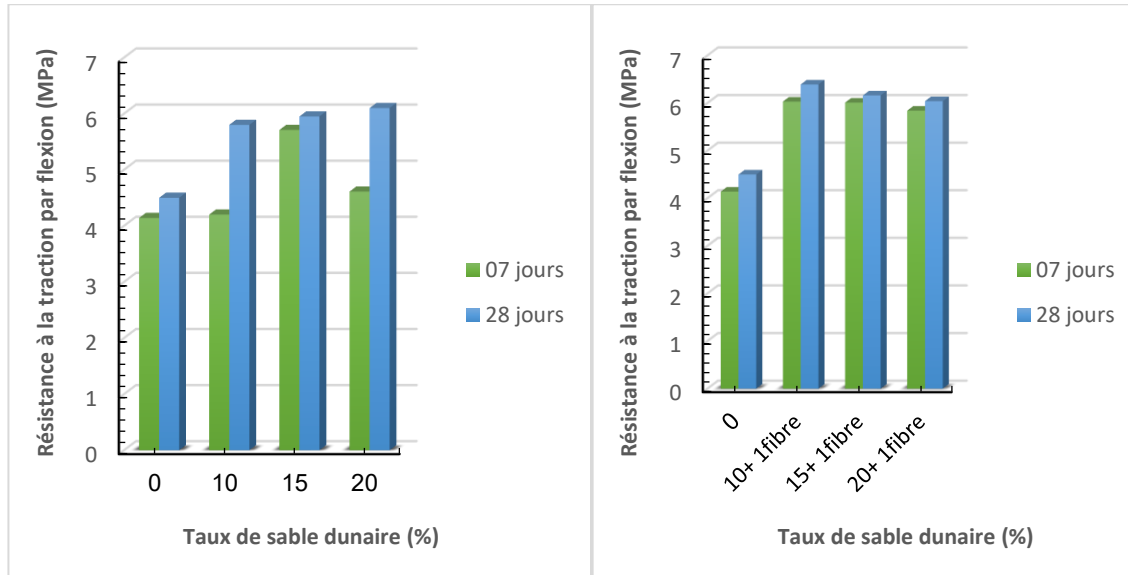


Figure. III.5 Relation entre le taux de sable dunaire et la résistance à la traction par flexion à 7 et 28 jours.

L'analyse de la figure 3.5 met en évidence une cinétique d'hydratation classique de la matrice cimentaire, où la résistance à la traction par flexion à 28 jours est systématiquement supérieure à celle mesurée à 7 jours pour l'ensemble des mélanges étudiés.

Pour les mélanges sans ajout de fibres, l'incorporation de sable dunaire s'avère bénéfique pour les propriétés mécaniques du matériau. À 7 jours, les performances stagnent jusqu'à un taux de 10 % avant d'atteindre un pic optimal à 15 %, suivi d'une chute notable à 20 %. En revanche, à 28 jours, la résistance croît de manière continue avec le taux de substitution, atteignant son maximum à 20 % de sable dunaire, ce qui témoigne d'un gain de performance à long terme par rapport au mélange témoin.

Toutefois, contrairement aux mélanges non fibrés, l'augmentation ultérieure du taux de sable dunaire (de 10 % à 20 %) n'apporte plus d'amélioration et engendre même une légère baisse de résistance à 7 et 28 jours.

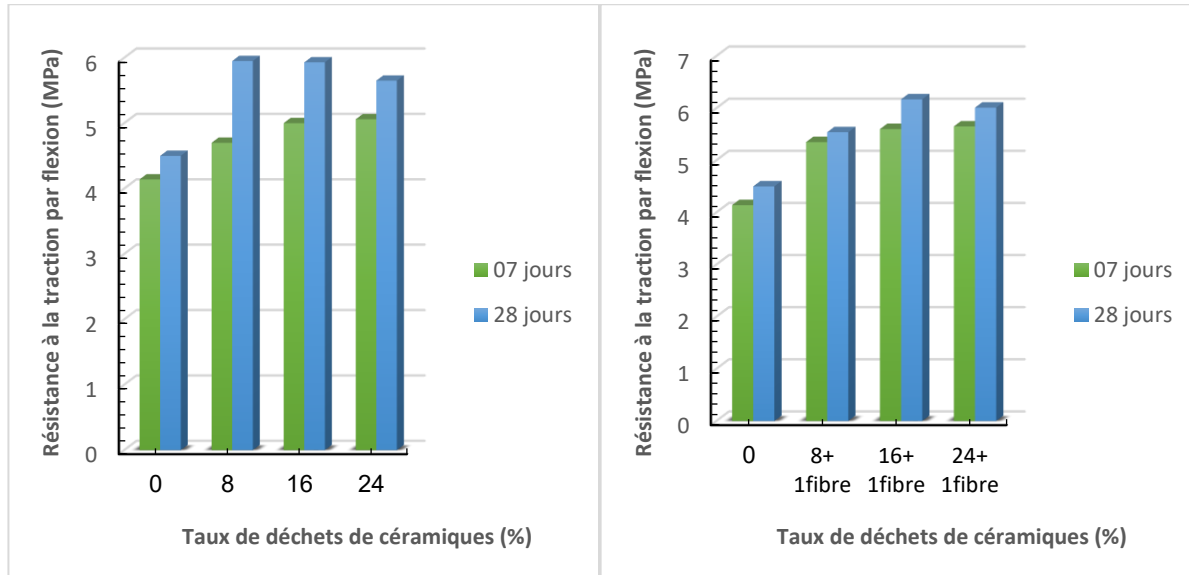
b) Taux de sable de dune (SD=0)

Figure.III.6 Relation entre le taux de déchets céramiques et la résistance à la traction par flexion à 7 et 28 jours.

L'analyse de la figure 3.6 permet d'évaluer l'impact de l'incorporation de déchets de céramiques, combinée ou non avec l'ajout d'une fibre, sur la résistance à la traction par flexion à 7 et 28 jours. De manière générale, le processus d'hydratation se déroule normalement, puisque la résistance à 28 jours s'avère systématiquement supérieure à celle enregistrée à 7 jours pour tous les mélanges.

Dans les mélanges non fibrés, l'introduction des déchets de céramiques améliore nettement les propriétés mécaniques du matériau par rapport au témoin à 0 %. À 7 jours, on observe une croissance continue de la résistance qui progresse avec le taux de substitution pour atteindre son maximum à 24 %. À l'échéance de 28 jours, les performances augmentent de façon marquée dès un taux de 8 % avant de se stabiliser à un niveau optimal à 16 %, suivi d'une légère régression lorsque le taux atteint 24 %.

Pour les mélanges intégrant une fibre, l'évolution de la résistance suit une tendance à la fois positive et plus régulière. L'ajout conjoint de fibres et de déchets de céramiques engendre une hausse progressive des performances mécaniques à mesure que le taux de déchet augmente. Le pic optimal de résistance est atteint à 28 jours pour la formulation combinant 16 % de déchets de céramiques et

une fibre. Au-delà de ce seuil, à 24 %, la résistance subit une légère baisse à 28 jours, tout en se stabilisant à 7 jours.

III.3.3. L'absorption d'eau par immersion totale

a) Taux de déchets de céramiques (DC=0)

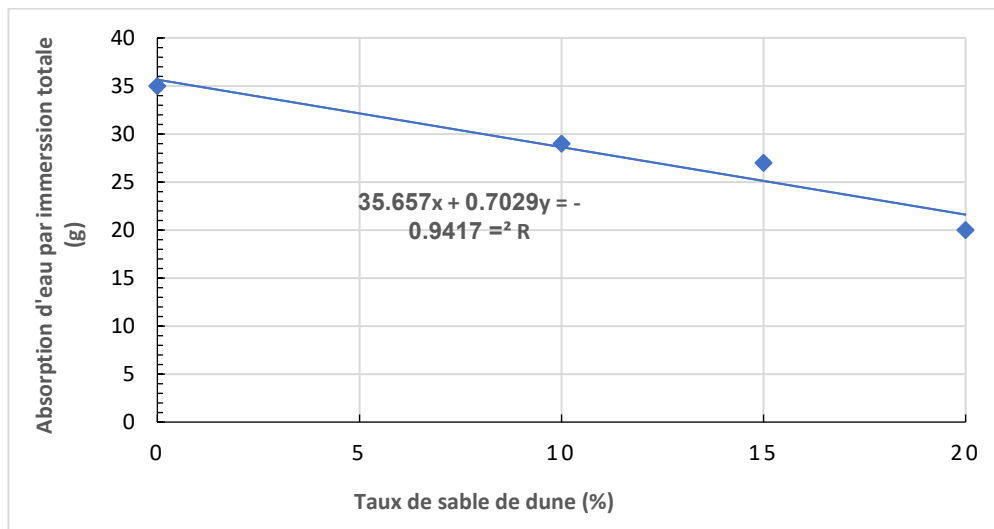
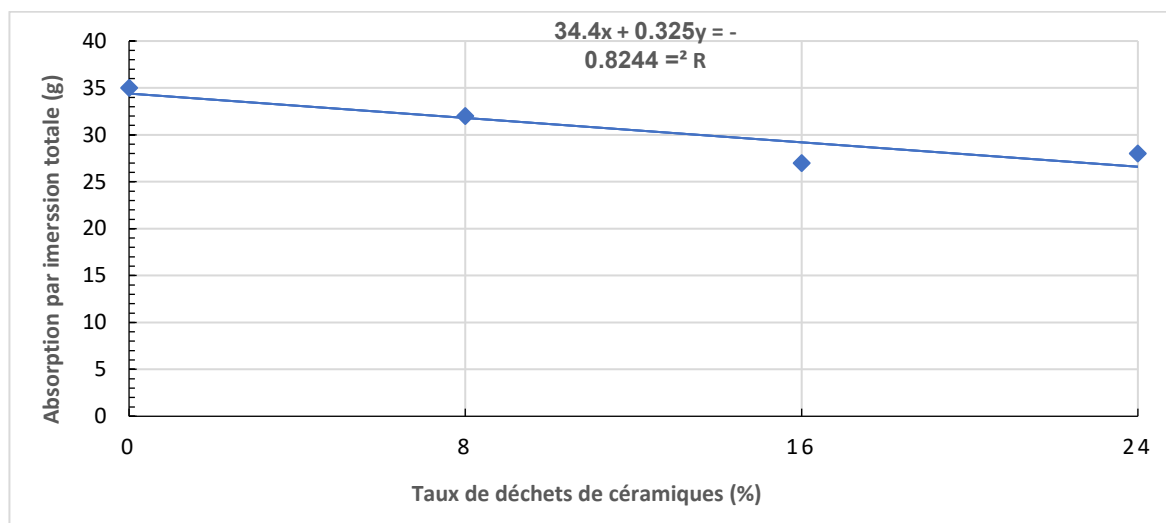


Figure.III.7 Absorption d'eau par immersion totale des mortiers avec sable de dune

L'analyse de la figure 3.7 permet d'évaluer l'évolution de l'absorption d'eau par immersion totale des mortiers en fonction de l'augmentation du taux de sable de dune. Les résultats mettent en évidence une relation inverse et linéaire très nette entre ces deux paramètres sur la plage de substitution étudiée (de 0 % à 20 %).

À mesure que le taux de sable de dune progresse, la quantité d'eau absorbée par le mortier diminue de façon constante. Pour le mélange témoin sans sable de dune (0 %), l'absorption initiale se situe à son niveau maximal. Cette absorption chute progressivement pour atteindre son point le plus bas à 20 % de substitution, ce qui représente une réduction significative de la porosité accessible à l'eau.

b) Taux de sable de dune (SD=0)**Figure.III.8** Absorption d'eau par immersion totale des mortiers avec déchets céramiques

L'analyse de la figure 3.8 permet d'examiner l'évolution de l'absorption d'eau par immersion totale des mortiers en fonction du taux d'incorporation de déchets de céramiques. Les résultats révèlent une tendance globale à la baisse de l'absorption d'eau à mesure que la proportion de fines de céramiques augmente dans le mélange.

Le mortier témoin (0 % de déchets) affiche l'absorption la plus élevée. Avec l'introduction des déchets de céramiques, cette valeur diminue progressivement à un taux de 8 %, puis descend à son point le plus bas à un taux de 16 %. On note toutefois une légère remontée de l'absorption à 24 % de substitution, suggérant qu'un excès de ce type de déchet peut commencer à altérer l'homogénéité ou la compacité de la matrice.

III.3.4. Vitesse de propagation des ultrasons

a) Taux de Taux de déchets de céramiques (DC=0)

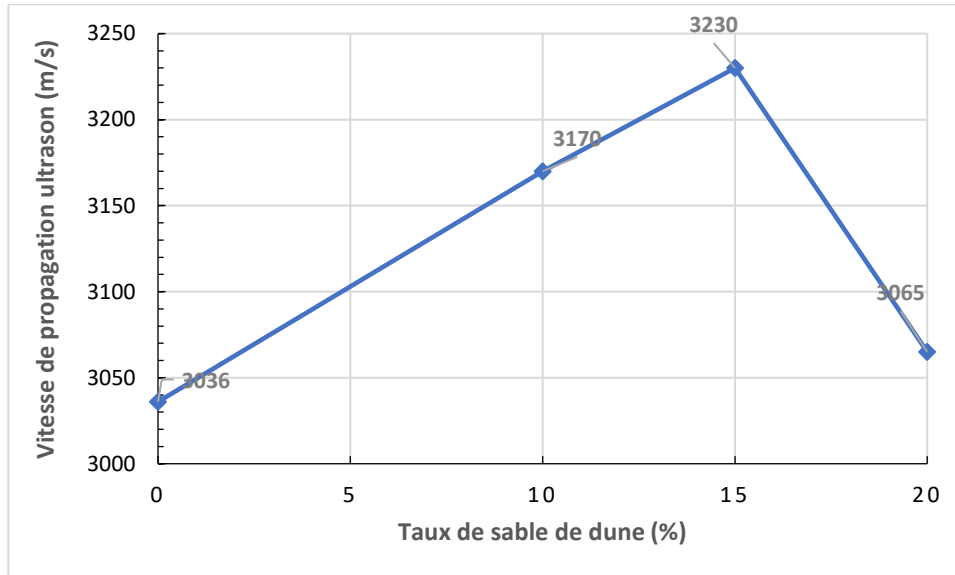


Figure.III.9 Vitesse de propagation d'ultrasons des mortiers avec avec sable de dune

La figure 3.9 montre l'évolution de la vitesse de propagation des ondes ultrasonores au sein des mortiers en fonction du taux de substitution en sable de dune.

L'analyse de la courbe révèle une progression en deux phases bien distinctes. Dans un premier temps, l'introduction du sable de dune induit une augmentation continue de la vitesse ultrasonique, qui passe de 3036 m/s pour le témoin (0 %) à 3170 m/s pour un taux de 10 %, avant de culminer à un maximum de 3230 m/s à un taux de 15 %. Cette hausse significative traduit une densification de la matrice cimentaire, imputable à un effet de remplissage granulaire où les particules fines de sable de dune comblent efficacement les pores interconnectés.

Dans un second temps, au-delà du seuil critique de 15 %, on assiste à une chute brutale de la vitesse de propagation, qui retombe à 3065 m/s pour un taux de substitution de 20 %. Ce déclin marqué indique une perte de compacité et une augmentation de la porosité interne, probablement causées par un phénomène de sursaturation en éléments fins qui perturbe le squelette granulaire et augmente la demande en eau de mouillage, créant ainsi des micro-vides qui freinent l'onde.

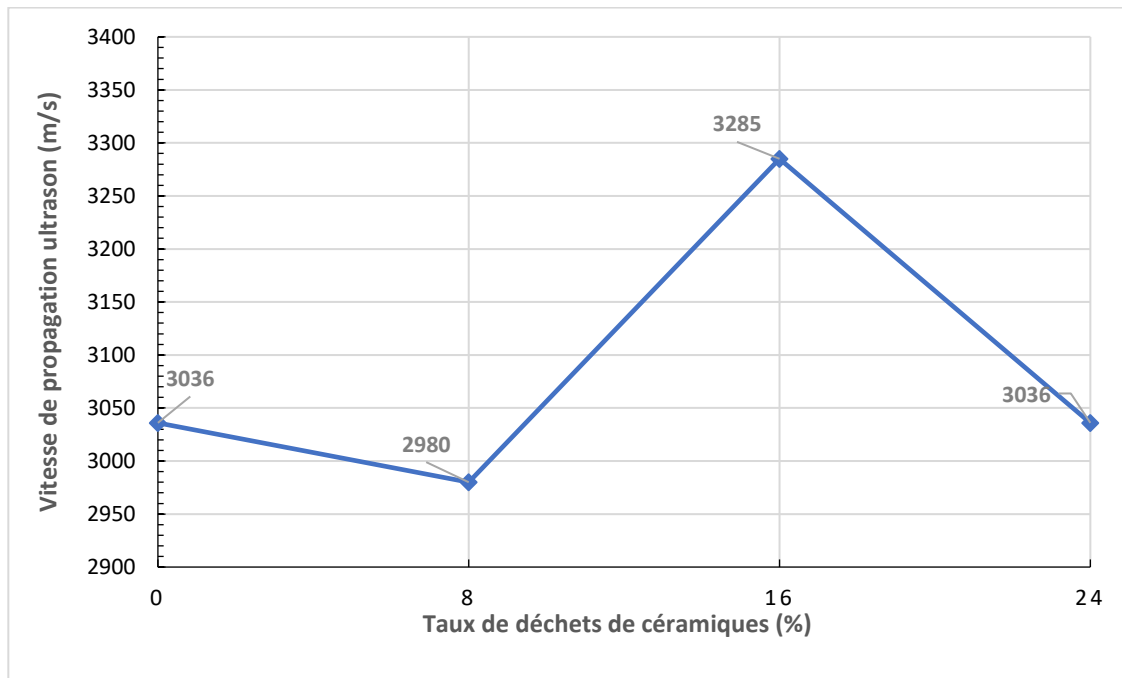
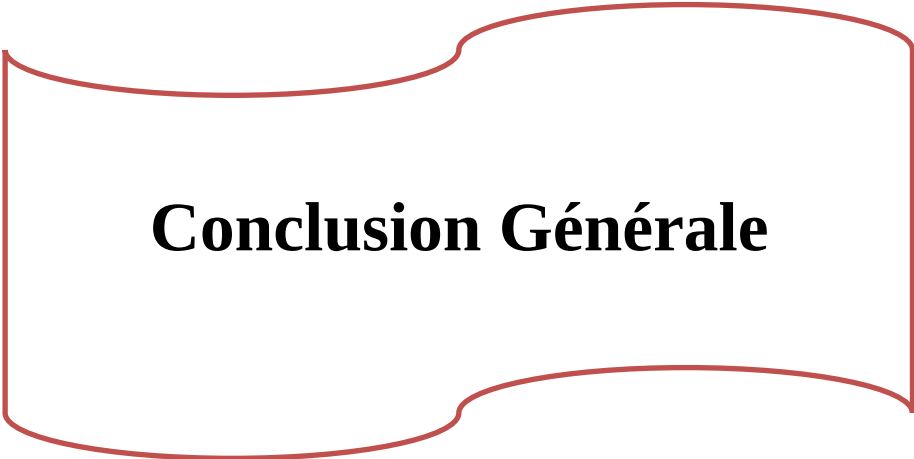
b) Taux de de sable de dune (SD=0)

Figure.III.10 Vitesse de propagation d'ultrasons des bétons avec déchets céramiques

La figure 3.10 montre l'évolution de la vitesse de propagation des ondes ultrasonores au sein des bétons en fonction du taux d'incorporation de déchets de céramiques. L'analyse du graphique met en évidence un comportement singulier en trois phases distinctes. On observe d'abord une légère diminution de la vitesse ultrasonique qui passe de 3036 m/s pour le témoin (0 %) à 2980 m/s à un taux de 8 %. Cette baisse initiale peut s'expliquer par une légère dégradation précoce de la maniabilité ou de l'arrangement granulaire lors de l'introduction des premiers fragments ou fines de céramiques, créant localement de faibles discontinuités.

Dans un deuxième temps, une inversion de tendance majeure se produit entre 8 % et 16 % de substitution. La vitesse de propagation connaît une croissance remarquable pour culminer à son maximum absolu à 3285 m/s pour un taux de 16 %. Cette augmentation significative met en évidence un effet filler (remplissage micro-granulaire) optimal : les fines de céramiques comblent efficacement les pores de la matrice cimentaire et l'interface pâte-granulats, ce qui densifie considérablement la structure interne du béton. Dans un troisième temps, au-delà du seuil de 16 %, la courbe affiche une chute brutale pour ramener la vitesse à 3036 m/s à un taux de 24 %, soit une valeur identique à celle du témoin. Ce déclin marqué indique qu'une sursaturation en déchets de céramiques devient néfaste, provoquant probablement une mauvaise distribution des constituants, une augmentation de la porosité occluse ou un besoin en eau mal compensé, ce qui multiplie les obstacles physiques au passage de l'onde.

A decorative red border with a wavy, undulating shape, resembling a stylized wave or a piece of paper with irregular edges. It frames the central text.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

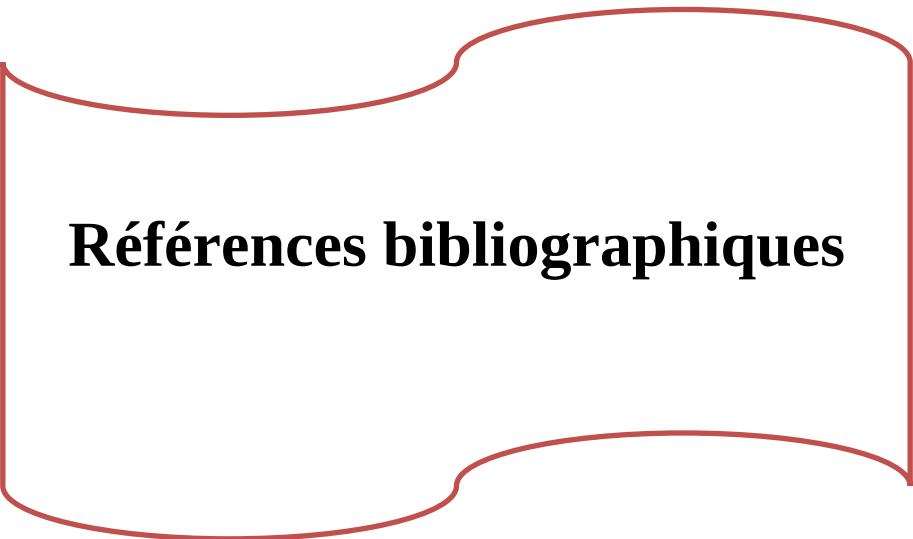
À partir de l'ensemble des résultats présentés, il est possible de formuler la conclusion générale et les recommandations suivantes :

- L'incorporation du sable de dune améliore la compacité du mortier, mise en évidence par l'augmentation de la masse volumique jusqu'à environ 10 % de substitution.
- Au-delà de ce seuil (15–20 %), une diminution progressive des performances mécaniques est observée.
- Le sable de dune entraîne globalement une réduction de la résistance mécanique, mais des taux modérés (10 %) permettent de conserver des performances acceptables.
- L'ajout de fibres de polypropylène limite la dégradation des résistances et améliore la cohésion interne du matériau.
- L'incorporation des déchets de céramique améliore la masse volumique et la compacité jusqu'à un taux optimal situé entre 8 % et 16 %.
- L'incorporation de 8 à 16 % de déchets améliore la masse volumique, réduit l'absorption d'eau et favorise le développement des résistances mécaniques à long terme.
- La résistance mécanique des mortiers contenant des déchets céramiques est globalement améliorée à long terme (28 jours) pour des dosages modérés.
- Les essais ultrasoniques montrent une augmentation de la vitesse de propagation jusqu'à un seuil optimal (16 %), confirmant une structure plus dense.
- Au-delà des seuils optimaux (20–24 %), une dégradation des propriétés (masse volumique, absorption, vitesse ultrasonique) est observée.
- Globalement, les matériaux recyclés étudiés présentent un potentiel intéressant en génie civil, mais leur efficacité dépend fortement du taux de substitution.
- Les meilleures performances globales sont obtenues pour des dosages modérés : 10 % pour le sable de dune et 16 % pour les déchets de céramique.
- Ces résultats confirment l'intérêt de la valorisation des matériaux locaux et des déchets industriels dans une approche de construction durable.

D'une manière générale, les résultats démontrent que le sable de dune et les déchets de céramique constituent des matériaux alternatifs prometteurs pour la fabrication de mortiers plus durables et plus respectueux de l'environnement. Toutefois, leur efficacité dépend fortement du taux de substitution utilisé. Les meilleures performances globales sont obtenues pour des taux modérés, de l'ordre de 10 % pour le sable de dune et de 16 % pour les déchets de céramique.

Perspective

Il est recommandé de limiter l'incorporation du sable de dune à des taux proches de 10 % afin de préserver les performances mécaniques tout en améliorant la compacité du mortier, et de privilégier des taux de déchets de céramique autour de 16 %, qui semblent optimiser les propriétés physiques et mécaniques du matériau. L'utilisation de fibres de polypropylène est conseillée pour compenser la baisse de résistance liée aux fortes substitutions et améliorer la cohésion de la matrice. Il est également recommandé de poursuivre les investigations sur la durabilité à long terme (attaque chimique, cycles de gel-dégel, carbonatation) et d'évaluer le comportement du matériau sous différentes conditions environnementales. Enfin, une étude technico-économique est souhaitable afin de confirmer la faisabilité et l'intérêt environnemental de la valorisation de ces matériaux en génie civil.

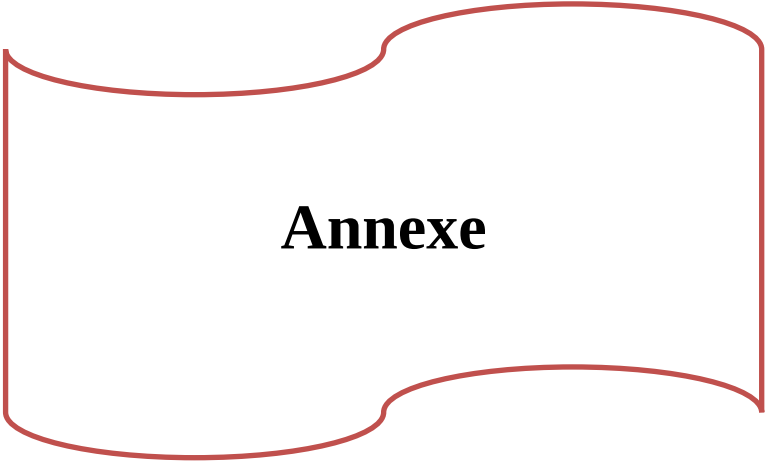


Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] Neville, A. M. (2011). Properties of Concrete. Pearson Education.
- [2] EN 998-1 (2016). Specification for Mortar for Masonry. CEN, Brussels.
- [3] Larousse. Dictionnaire de français – définition et étymologie du mortier. Édition en ligne.
- [4] EN 197-1 (2011). Cement – Part 1: Composition, Specifications and Conformity Criteria. CEN, Brussels.
- [5] Hewlett, P. C., & Liska, M. (2019). Lea's Chemistry of Cement and Concrete. Elsevier.
- [6] Mindess, S., Young, J. F., & Darwin, D. (2003). Concrete. Prentice Hall.
- [7] Banfill, P. F. G. (1994). Rheology of Fresh Cement and Concrete.
- [8] Bentz, D. P. (2008). Water-to-cement ratio effects on cementitious materials. Cement and Concrete Research.
- [9] Siddique, R. (2011). Waste Materials and By-Products in Concrete. Springer.
- [10] Pacheco-Torgal, F., & Jalali, S. (2010). Reuse of ceramic wastes in mortar and concrete. Construction and Building Materials.
- [11] CIM Béton (2001). Le ciment et ses applications. Paris.
- [12] EN 196-1 (2016). Methods of Testing Cement – Part 1. CEN, Brussels.
- [13] Medina, C., et al. (2012). Reuse of ceramic waste in construction materials. Construction and Building Materials.
- [14] Gomes, M., & de Brito, J. (2009). Recycled ceramic aggregates in mortar production. Materials and Structures.
- [15] Balaguru, P. N., & Shah, S. P. (1992). Fiber-Reinforced Cement Composites. McGraw-Hill.
- [16] Banthia, N., & Gupta, R. (2006). Influence of fibers on cement-based composites. Cement and Concrete Research.
- [17] Benazzouk, A., et al. (2006). Use of dune sand in cement composites. Cement and Concrete Composites.
- [18] Ghernouti, Y., et al. (2015). Properties of mortars incorporating local sands. Construction and Building Materials.
- [19] NF P 18-598 (1991). Essais des sables utilisés dans les mortiers. AFNOR.

- [20] NF EN 196-1 (2016). Méthodes d'essai des ciments – Partie 1 : détermination des résistances mécaniques. Comité Européen de Normalisation (CEN), Bruxelles.
- [21] CIMBETON (2001). Le ciment et ses applications. Centre d'Information sur le Ciment et ses Applications, Paris, France.
- [22] Bentur, A., & Mindess, S. (2007). Fibre Reinforced Cementitious Composites. CRC Press, Boca Raton, USA.
- [23] AFNOR (1979). NF P 18-554. Granulats – Mesure de la masse volumique apparente et absorption d'eau. Association Française de Normalisation, Paris, France.
- [24] AFNOR (1983). NF P 18-301. Granulats naturels – Caractéristiques physiques et identification. Association Française de Normalisation, Paris, France.
- [25] AFNOR (1990). NF P 18-560. Analyse granulométrique des granulats par tamisage. Association Française de Normalisation, Paris, France.
- [26] AFNOR (1991). NF P 18-598. Sables pour mortiers – Essai d'équivalent de sable. Association Française de Normalisation, Paris, France.
- [27] Aïtcin, P.-C. (2000). High Performance Cementitious Materials and Superplasticizers. Spon Press, London, UK.
- [28] NF EN 196-1 (2016). Méthodes d'essai des ciments – Partie 1 : détermination des résistances mécaniques. CEN, Brussels, Belgium.
- [29] Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. McGraw-Hill Education, New York, USA.



Annexe

Annexe 1



50kg

متين
Matine

ALGÉRIE



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 nécessitant 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.

L A member of
LafargeHolcim

Annexe 2



NOTICE PRODUIT

SikaPlast®-40 Pro

Superplastifiant/Haut Réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération

INFORMATIONS SUR LE PRODUIT

SikaPlast®-40 Pro est un superplastifiant haut réducteur d'eau, à base de polycarboxylates modifiés.

DOMAINES D'APPLICATION

SikaPlast®-40 Pro est un superplastifiant/haut réducteur d'eau qui permet d'obtenir un long maintien de rhéologie. Il est donc parfaitement adapté au BPE et à l'utilisation sur chantier.

SikaPlast®-40 Pro permet la fabrication de :

- bétons de consistance S3 et S4, ▪
- bétons à différents rapports E/C, ▪
- bétons pompés.

Dans les bétons fluides, SikaPlast®-40 Pro améliore la stabilité, limite les risques de ségrégation et rend la formule plus robuste vis-à-vis des variations de dosage en eau et des propriétés des constituants.

DESCRIPTION DU PRODUIT

Conditionnement	Bidon 5 kg Bidon 10 kg Cubi 1100 kg
Durée de Conservation	12 mois dans son emballage d'origine intact
Conditions de Stockage	A l'abri du gel. En cas de gel accidentel, le produit retrouve ses qualités d'origine une fois dégelé lentement et ré-homogénéisé

CARACTÉRISTIQUES / AVANTAGES

SikaPlast®-40 Pro est un superplastifiant/haut réducteur d'eau qui confère au béton les propriétés suivantes :

- maintien prolongé de la rhéologie,
- haute réduction d'eau,
- robustesse vis-à-vis de la ségrégation, ▪
- bonnes résistances initiales et finales, ▪
- bel aspect de parement au décoffrage.

AGRÉMENTS / NORMES

Conforme à la Norme NF EN 934-2 Tab 3. 1 et 3.2

ANNEXE

Aspect / Couleur	Liquide brun clair à foncé
Densité	1,055 ± 0,015
Valeur pH	4,5 ± 1,0
Teneur Totale en Ions Chlorure	≤ 0,1 %

RENSEIGNEMENTS SUR L'APPLICATION

Dosage Plage de dosage : 0,7 à 2,5% du poids de liant ou du ciment selon la fluidité et les performances recherchées.

Notice produit
SikaPlast®-40 Pro
Octobre 2023, Version 01.03
021301011000003541

1 / 2

Distribution SikaPlast®-40 Pro 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.

INSTRUCTIONS POUR L'APPLICATION

SikaPlast®-40 Pro 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.

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.

Sika El Djazair SPA

08 route de Larbaa

16111 Les Eucalyptus ALGERIE

Tél.: 0 23 88 89 92 09 Fax: 0 23 88 89 92 08 dza.sika.com



SikaPlast-40Pro-fr-DZ-(10-2023)-1-3.pdf

Notice produit

SikaPlast®-40 Pro

Octobre 2023, Version 01.03

021301011000003541

2 / 2

BUILDING TRUST

