

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

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la technologie

Département de GENIE CIVIL

Mémoire

Présenté pour obtenir

LE DIPLOME DE MASTER

FILIERE : Génie Civil

Spécialité : Structures

Par

- HOUMA ISSAM
- SENOUSSE DJAMEL

Intitulé

**Conception de murs de maçonnerie utilisant des techniques
et des matériaux innovants**

Soutenu le : 06/07/2026

Devant le Jury composé de :

Pr. Yacin Achour

Dr. Dridi Meriem

Dr. Belkadi Ahmed Abderraouf

Dr. Nabile Maafi

Université de BBA

Université de BBA

Université de BBA

Université de BBA

Président

Examineur

Encadrant

Co-encadrant

Année Universitaire 2025/2026

Remerciement :

Avant tout, nous remercions Dieu de nous avoir donné la force, le courage et la persistance pour accomplir ce modeste travail c'est grâce à lui seul que

J'ai pu achever ce modeste travail.

À Monsieur **BELKADI abd Elraouf** et **Nabil Maafi** qui nous a guidées à chaque étape de la réalisation de ce travail.

Je remercie : Gérant et les ingénieurs de laboratoires de génie civil.

- Mes enseignants du département de génie civil et les responsables du
Laboratoire.

- mes remerciements aussi à l'ensemble des membres du jury président et
Examineur ils nous ont beaucoup facilité le travail.

Tous les gens qui m'ont aidée de près ou de loin dans la réalisation de ce
modeste travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

À mes chers parents, source de tendresse et symbole de sacrifice, qui n'ont cessé de m'encourager et de prier pour moi. Que Dieu les protège et leur accorde une longue vie pleine de santé et de bonheur.

À mes frères et sœurs, Karima Imad et Ghanou pour leur soutien moral et leurs encouragements tout au long de mon parcours.

À toute ma famille, petits et grands, pour leur amour et leur présence à mes côtés.

À mes amis fidèles, avec qui j'ai partagé les moments difficiles et joyeux de ce parcours universitaire, et particulièrement à ceux qui m'ont soutenu de près.

À tous mes enseignants, du primaire jusqu'à l'université, qui ont contribué à ma formation et à mon savoir.

A tout mes collègues de studio Part Of Art

À toute personne ayant participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Issam Houma

إهداء

إلى من أحمل اسمهم بكل فخر

والديّ العزيزين

قرة عيني وسند العمر

إلى إخوتي

وأصدقائي، وكل من جعل لهذه الرحلة الدراسية معنى وأثراً طيباً وإلى الأقربين إلى قلبي

إلى رفيقي في هذا المشروع ومن شاركني عناء البحث وخطوات الإنجاز، وإلى سائر

الأصدقاء المقربين.

. وإلى نفسي التي قاومت واجتهدت لتصل إلى هذه المحطة أهديتها ثمرة هذا التعب

وشكراً لكم جميعاً

سنوسي جمال

Résumé :

Ce travail porte sur l'étude de l'influence de la poudre de verre recyclée et des fibres de verre sur les performances des mortiers à base de ciment. L'objectif principal est d'améliorer les propriétés mécaniques du mortier tout en valorisant les déchets verriers dans une démarche de développement durable. Plusieurs formulations ont été élaborées en substituant partiellement le ciment par de la poudre de verre (10 % et 15 %) et en incorporant des fibres de verre (0,15 % et 0,30 % en volume). Les performances des mortiers ont été évaluées à travers des essais d'étalement, de résistance à la flexion et de résistance à la compression à 7 et 28 jours. Les résultats montrent que les fibres de verre améliorent les résistances mécaniques mais réduisent légèrement l'ouvrabilité, tandis que la poudre de verre améliore la fluidité grâce à son effet de remplissage et contribue à l'augmentation des résistances par son activité pouzzolanique. La formulation contenant 15 % de poudre de verre et 0,30 % de fibres de verre présente les meilleures performances mécaniques. Cette étude a également permis de proposer une plaque de mortier sec préfabriquée (Nova Pad), destinée à simplifier la mise en œuvre sur chantier et à réduire les pertes de matériaux..

- **Mots-clés :** Mortier cimentaire, poudre de verre, fibres de verre, recyclage, développement durable, résistance mécanique, mortier sec, Nova Pad.

Abstract

This study investigates the influence of recycled glass powder and glass fibre on the performance of cement mortars. The main objective is to improve the mechanical properties of mortar while promoting the recycling of glass waste within a sustainable development approach. Several mortar mixtures were prepared by partially replacing cement with glass powder (10% and 15%) and incorporating glass fibres (0.15% and 0.30% by volume). The mortars were evaluated through flow, flexural strength, and compressive strength tests after 7 and 28 days of curing. The results show that glass fibres enhance the mechanical properties but slightly reduce workability, whereas glass powder improves the flowability due to its filler effect and increases strength through its pozzolanic activity. The mixture containing 15% glass powder and 0.30% glass fibres achieved the best overall mechanical performance. Furthermore, this work proposes a prefabricated dry mortar panel (Nova Pad) designed to simplify on-site application and reduce material waste.

- **Keywords:** cement mortar, glass powder, glass fibers, recycling, sustainable development, mechanical strength, dry mortar, Nova Pad.

الملخص

هدف هذه الدراسة إلى تقييم تأثير إضافة مسحوق الزجاج المعاد تدويره وألياف الزجاج على الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للمونة الإسمنتية، مع المساهمة في تثمين النفايات الزجاجية في إطار التنمية المستدامة. تم تحضير عدة خلطات باستبدال جزء من الإسمنت بمسحوق الزجاج بنسبة 10% و 15%، مع إضافة ألياف زجاجية بنسبة 0.15% و 0.30% من الحجم الكلي للمونة. وقد تم تقييم أداء الخلطات من خلال اختبارات قابلية التشغيل، ومقاومة الانحناء، ومقاومة الضغط بعد 7 و 28 يوماً من المعالجة. أظهرت النتائج أن ألياف الزجاج تحسن الخصائص الميكانيكية للمونة مع انخفاض طفيف في قابلية التشغيل، بينما ساهم مسحوق الزجاج في تحسين السيولة بفضل تأثير الحشو، كما أدى نشاطه البوزولاني إلى زيادة مقاومة المونة. وقد حققت الخلطة التي تحتوي على 15% من مسحوق الزجاج و 0.30% من ألياف الزجاج أفضل النتائج الميكانيكية. كما أسفرت الدراسة عن اقتراح لوحة مونة جافة مسبقة الصنع (Nova Pad) تهدف إلى تسهيل التنفيذ في الورشات وتقليل هدر مواد البناء.

- **الكلمات المفتاحية:** المونة الإسمنتية، مسحوق الزجاج، ألياف الزجاج، إعادة التدوير، التنمية المستدامة، المقاومة الميكانيكية، المونة الجافة، Nova Pad.

Contents

Remerciement :	2
Résumé :	5
Listes des figures :	9
Liste des tableaux :	10
Introduction générale	1
Chapitre 1 : Généralité sur les mortiers	
1.1 Introduction	4
1.2 Généralité	4
1.3 Constituants des mortiers	5
1.4 Type de mortier	10
1.5 Classification des mortiers	12
1.6 Classes des mortiers	13
1.7 Les emplois des mortiers	13
1.8 Conclusion	16
Chapitre 2 : Caractérisation des matériaux de base et méthodologie des essais	
2.1 Introduction	18
2.2 Matériaux de base	18
2.3 Composition de différents mélanges	21
2.4 Méthodes expérimentales	22
2.4.1 Matériel utilisé	22
2.4.2 Coffrage	22
2.4.3 Coulage de mortiers	22
2.5 Essais sur les mortiers polymères à l'état frais	23
2.6 Performances mécaniques des mortiers	23
2.7 Conclusion	24
Chapitre 3 : Résultats et discussion	
3.1 Introduction	26

3.2	Etalement.....	26
3.3	Résistance à la flexion.....	27
3.4	Résistance à la compression.....	29
4.	Application pratique d'un nouveau mortier de joint :	31
4.1.	Paramètres géométriques.....	31
4.2.	Etapas de fabrication de la plaque de mortier	31
4.3.	Prototype final.....	34
3.1	Conclusion.....	37

Listes des figures :

Chapitre I : Généralité sur les mortiers

Figure I.1	Mélange de Mortier	4
Figure I.2	Le ciment	5
Figure I.3	Les composantes de ciment	6
Figure I.5	Les adjuvants [8]	8
Figure I.6	Poudre de verre	9
Figure I.6	RDP [17]	10
Figure I.8	Les enduit [13]	13
Figure I.9	Les chapes [14]	13
Figure I.10	Les joints maçonneries [15]	14

Chapitre II : Caractérisation des matériaux de base et méthodologie des essais

Figure II.1	Courbe granulométrique du sable utilisé.....	17
Figure II.2	Fibre de verre.....	19

Figure II.1 Le coffrage utilisé.....	20
Figure II.2 Coulage les éprouvettes.....	21
Figure II.3 Essai d'étalement.....	21
Figure II.4 Essais de résistance à la compression et à la flexion des mortiers	22

Chapitre III : Résultats et discussion

Figure III.1 Etalement de différents mélanges.....	25
Figure III.2 Résistance à la flexion de différents mélanges.....	26
Figure III.3 Résistance à la compression de différents mélanges.....	27
Figure III.4 Différents produits utilisés.....	31
Figure III.5. Malaxeur.....	32
Figure III.6 Moule.....	32
Figure III.7 Presse hydraulique.....	33
Figure III.8 Four	33
Figure III.9 Produits finals.....	34

Liste des tableaux :

Tableau II.1 Caractéristiques physiques et chimiques des granulats utilisés.

Tableau II.2 Caractéristiques chimiques, physiques et mécaniques du ciment utilisé.

Table II.1 Caractéristique chimique de la poudre de verre.

Table II.4 La composition des différents mélanges de mortier utilisés.

Introduction générale

Le secteur de la construction est aujourd'hui confronté à plusieurs défis majeurs, notamment la réduction de l'impact environnemental des matériaux de construction, la valorisation des déchets industriels et l'amélioration des performances des matériaux utilisés dans le bâtiment et les travaux publics. Dans ce contexte, le développement de matériaux plus durables, économiques et performants constitue une priorité pour la recherche scientifique et l'industrie de la construction.

Le mortier est l'un des matériaux les plus employés dans les ouvrages de génie civil grâce à sa simplicité de mise en œuvre et à ses nombreuses applications, telles que les travaux de maçonnerie, les enduits, les chapes ou encore les scellements. Toutefois, les mortiers traditionnels présentent certaines limites liées à leurs performances mécaniques, leur durabilité ainsi qu'à la consommation importante de ciment, dont la fabrication est fortement émettrice de dioxyde de carbone (CO_2). Cette situation encourage le recours à des matériaux alternatifs capables de remplacer partiellement le ciment tout en améliorant les propriétés du mortier.[1]

Parmi les matériaux de substitution les plus prometteurs figure la poudre de verre issue du recyclage des déchets verriers. Riche en silice amorphe, elle possède une activité pouzzolanique susceptible de contribuer à la formation de nouveaux hydrates, tout en améliorant la compacité de la matrice cimentaire. Par ailleurs, l'utilisation de fibres de verre comme matériau de renforcement permet de limiter la propagation des microfissures, d'améliorer la ductilité du matériau et d'augmenter ses résistances mécaniques, notamment en flexion.

Le présent travail s'inscrit dans cette démarche de développement durable en étudiant l'influence de l'incorporation combinée de la poudre de verre et des fibres de verre sur les propriétés des mortiers. L'objectif principal est d'évaluer leur effet sur l'ouvrabilité ainsi que sur les résistances mécaniques en compression et en flexion afin de déterminer une formulation optimale conciliant performances techniques et valorisation des déchets.

Au-delà de cette étude expérimentale, ce travail propose également une application pratique à travers le développement d'une plaque de mortier sec préfabriquée (Nova Pad), destinée à simplifier les opérations de mise en œuvre sur chantier, à réduire le gaspillage des matériaux et à améliorer la qualité des travaux.

Pour atteindre ces objectifs, ce mémoire est organisé en trois chapitres. Le premier présente les généralités sur les mortiers, leurs constituants, leurs classifications et leurs domaines d'application. Le deuxième est consacré à la caractérisation des matériaux utilisés, à la formulation des différents mélanges ainsi qu'à la méthodologie expérimentale adoptée. Enfin, le troisième chapitre présente les résultats expérimentaux obtenus, leur analyse et leur discussion, avant de proposer une application des formulations développées à la conception d'une plaque de mortier sec innovante.

Chapitre 1 : **Généralité sur les mortiers**

1.1 Introduction

Le mortier est un matériau de construction fondamental, indispensable à presque tous les travaux de maçonnerie. Qu'il s'agisse de monter un mur de briques ou de pierres, il joue un rôle essentiel dans toute construction

1.2 Généralité

Le mortier se définit comme un mélange homogène constitué d'un ou de plusieurs liants, de granulats fins, d'eau, auxquels peuvent s'ajouter des adjuvants ou des additions selon les besoins. Une fois malaxé et mis en œuvre, il acquiert progressivement sa rigidité pour aboutir à un matériau solide et résistant.

Ce qui distingue le mortier du béton réside essentiellement dans la taille de ses granulats, dont la dimension maximale ne dépasse généralement pas 4 mm. Cette caractéristique lui confère une texture plus fine ainsi que des propriétés d'application spécifiques. Sa préparation peut s'effectuer directement sur le chantier ou faire appel à des produits industriels, disponibles soit en sac sous forme sèche, soit prêts à l'emploi.

Sur le plan normatif, la norme européenne EN 998-2 désigne le mortier de maçonnerie comme un mélange de liants inorganiques, de granulats, d'eau et éventuellement d'adjuvants et/ou d'additions, destiné à l'assemblage et au jointoiement des éléments de maçonnerie.[1]



Figure I.1 Mélange de mortier

1.3 Constituants des mortiers

1.3.1 Le ciment

1.3.1.1 Définition

Le ciment est un liant, une matière pulvérulente, formant avec l'eau ou avec une solution saline une pâte homogène et plastique, capable d'agglomérer en durcissant, des substances variées appelées « agrégat » ou « granulat ». Après durcissement, cette pâte conserve sa résistance et sa stabilité, même sous l'eau. Son emploi le plus fréquent est sous forme de poudre, mélangé à de l'eau, pour associer du sable fin, des graviers, pour produire du mortier, ou encore du béton. [2]



Figure I.2 Le ciment

1.3.1.2 Historique

La fabrication du ciment est toujours plus ancienne mais en réalité ; le français Louis Vicat en 1817, a étudié et découvert scientifiquement et non plus empiriquement, les principes chimiques des ciments et définit leurs règles de fabrication. Aussi en est-il considéré comme l'inventeur. En 1824, l'anglais Aspidine prit un brevet pour la fabrication d'un ciment de Portland, mais celui-là comportait encore beaucoup de points obscurs. C'est seulement en 1845 que l'anglais Johnson indiqua de façon précise les règles de fabrication de ce produit.

À la fin du XIX^{ème} siècle, en France, Le Chatelier étudia la composition chimique des divers constituants des ciments ; son œuvre fut perfectionnée et achevée par l'américain Bogue au XX^{ème} siècle. En 1890, on comprit l'intérêt du laitier granulé ajouté au ciment, et après 1945, celui des cendres volantes. Les ciments spéciaux sont d'invention plus récente : le ciment alumineux fut découvert par Bied en 1908. [3]

1.3.1.3 La fabrication de ciment

Le ciment est fabriqué en montant en température jusqu'à 1 450 ° C, un mélange défini et finement broyé de calcaire, d'argile et de sable dans un four rotatif. Sous l'effet de la chaleur, la farine issue de ce mélange se transforme en clinker.

Le clinker sortant du four est refroidi, puis finement broyé pour produire la poudre que nous appelons ciment. Les différents types de ciment sont ensuite obtenus par ajout de composants minéraux supplémentaires comme des cendres de centrales thermiques, du laitier de haut fourneau, des fillers calcaires ou encore de pouzzolanes naturelles ou artificielles. [4]

La fabrication du ciment, un process complexe

- **L'extraction** : Les matières premières sont extraites de carrières à ciel ouvert par abattage ou ripage.
- **Le concassage** : Les matériaux passent dans un concasseur pour les réduire à une taille inférieure à 80 mm .
- **La pré homogénéisation** : Les matériaux sont disposés en couches horizontales superposées dans un hall puis repris verticalement pour obtenir un mélange homogène.
- **Le séchage et le broyage** : Les matières premières sont séchées et broyées finement dans des broyeurs à boulets ou des broyeurs à meules verticales.
- **La cuisson : obtention du clinker** : Elle se fait dans un four rotatif dont la température avoisine les 1450 ° C. Sous l'effet de la chaleur, la farine se transforme en clinker.
- **Du clinker au ciment** : Pour obtenir un ciment aux propriétés hydrauliques actives, le clinker doit être également broyé très finement dans des broyeurs à boulets. C'est pendant le broyage que l'on ajoute le gypse, indispensable à la régulation de la prise du ciment. On obtient alors le ciment Portland. [4]



Figure I.3 Les composantes de ciment

1.3.1.4 Les différents types de ciment

Les ciments incorporent les composants suivants en diverses proportions : clinker et laitier de haut fourneau, éventuellement cendres volantes siliceuses et calcaire. Suivant la proportion de chacun de ces éléments on peut les classer de manière standardisée. La désignation des ciments est en effet normalisée. Les ciments peuvent être classés en cinq grandes familles et vingt-sept variantes principales (norme EN-197-1-2000). [5]

- Ciment Portland (noté CEM I) – Clinker.
- Ciment Portland composé (noté CEM II) -Clinker principalement, associé à un ou deux autres composants.
- Ciments de hauts fourneaux (noté CEM III) - Mélanges de clinker et de laitier de haut fourneau.
- Ciments pouzzolaniques (noté CEM IV).

1.3.2 Le sable

1.3.2.1 Définition

Le sable est un matériau solide granulaire constitué de petites particules provenant de la désagrégation de matériaux d'origine minérale (essentiellement des roches) ou organique (coquilles, squelettes de coraux, etc.) dont la dimension est comprise entre 0,063 mm (limon) et 2 mm (gravier) selon la définition des matériaux granulaires en géologie. Sa composition peut révéler jusqu'à 180 minéraux différents (quartz, micas, feldspaths, etc.) ainsi que des débris calcaires.

Les sables peuvent être classés, selon leurs provenances comme suit :

- Sable de rivière : il est obtenu par dragage des lits des cours d'eau. Il doit être dur et propre pour qu'on puisse l'utiliser dans les bétons.
- Sable de mer : il provient des côtes de la mer. Pour l'utiliser dans les bétons, il faut qu'il ne soit pas trop fin et qu'il soit lavé de son sel.
- Sable de carrière : Il contient souvent de l'argile qui enrobe les grains et les empêche d'adhérer aux liants. Il est donc à proscrire. [6]

1.3.2.2 Rôle de sable dans le mortier

L'introduction des sables permet de diminuer le retrait du liant (ossature mortier) en augmentant les résistances mécaniques, ajoutant de ça, sa disponibilité et son aspect esthétiques (couleur). Les sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains fins, moyens et gros. Les grains fins se disposent dans les intervalles entre les gros grains pour combler les vides. Ils jouent un rôle important : Ils réduisent les variations volumiques, les chaleurs dégagées et même le prix. Les dosages se feront en poids plutôt qu'en volume comme c'est souvent le cas, afin d'éviter les erreurs de dosage, par suite de l'augmentation de volume de sable humide [1]

1.3.3 L'eau de gâchage

L'eau joue un rôle important, elle sert à hydrater le ciment, elle facilite aussi la mise en œuvre du béton ou du mortier, ainsi elle contribue à son ouvrabilité. L'eau doit être propre et ne pas contenir d'impuretés nuisibles (matières organiques, alcalis). L'eau potable convient toujours le gâchage à l'eau de mer est à éviter, surtout pour le béton armé. Les caractéristiques des eaux requises pour la confection des mortiers et des bétons sont précisées dans la norme NA-442. Les mortiers devraient contenir la quantité d'eau maximale compatible avec une ouvrabilité optimale. [7]

1.3.4 Les adjuvants

Les adjuvants pour béton sont des produits chimiques ajoutés au béton pour modifier leurs caractéristiques. Les ajouts d'adjuvants du mortier, réalisés lors du malaxage, sont le plus souvent inférieurs à 5 % en masse de ciment



Figure I.5 Les adjuvants [8]

1.3.5 Poudre de verre

La poudre de verre est un ajout cimentaire alternatif de couleur blanche. Elle est obtenue après la collecte et le broyage des fragments de verre coloré. Sa haute teneur en silice amorphe SiO_2 lui confère des propriétés pouzzolaniques en se combinant avec la chaux pour produire d'autres hydrates.

1.3.6 Valorisations de poudre de verre

Les méthodes par lesquelles il peut être supprimé et de grandes recherches récentes aux Etats-Unis et le Royaume-Uni a permis de considérer le verre recyclé comme une construction en béton potentiellement "adapté à l'usage" matériel. Les premières recherches effectuées dans les années 1960, 1970 et 1980 sur l'étude de la réaction de silice alcaline de l'agrégat de verre ont conclusions définitives. Parallèlement à ces progrès scientifiques, les modifications apportées à la législation environnementale encouragent positivement les granulats secondaires dans le béton et les déchets de verre sont disponibles en plus grandes quantités en tant que conteneur, en fin de vie [9].



Figure I.6 Poudre de verre

1.3.7 RDP (*Re dispersible Polymère Powder*)

La RDP (abréviation de Re dispersible Polymères Powder) est un liant organique obtenu par le séchage par atomisation (spray-drying) d'une émulsion aqueuse de polymères (le plus souvent à base d'acétate de vinyle et d'éthylène - VAE). [17]



Figure I.7 RDP [17]

1.4 Type de mortier

Il est bon de savoir qu'il existe de multiples types de mortiers, plus ou moins adaptés en fonction des usages. Voici les mortiers les plus fréquemment utilisés sur les chantiers. On peut classer les mortiers selon leurs origines fabriquées en usine ou sur chantier comme suit. Voici les mortiers les plus fréquemment utilisés sur les chantiers. [10]

1.4.1 Le mortier de ciment

Le mortier-ciment est le produit le plus basique qui soit, indispensable pour construire un mur et lier les pierres ou briques entre elles. Il s'agit d'un mélange classique de ciment, de sable et d'eau. Pour les jointements et les scellements, on peut envisager de se passer de sable. Ce matériau reste utile pour toutes les constructions classiques (murs, chapes, etc.), qui ne nécessitent pas l'usage d'un mortier spécifique. L'avantage du ciment est qu'il profite d'une excellente résistance à la compression. Il sèche également plus vite que la plupart des autres solutions

1.4.2 Le mortier de chaux

La chaux est l'un des liants les plus utilisés dans les anciennes constructions.

A tel point qu'on utilise encore fréquemment des mortiers à la chaux. Il faut dire que ce type de mortier permet au mur de mieux respirer et dispose également de capacités hydrofuges (idéales pour les pièces humides).

On trouve deux types de chaux :

- La chaux aérienne : elle a l'avantage de durcir lentement, et uniquement au contact de l'air
- La chaux hydraulique : elle durcit au contact de l'eau, puis de l'air. L'usage de chaux dans un mortier permet généralement une application plus facile, grâce à un temps de séchage un peu plus long. Ces mortiers sont cependant plus complexes à doser que le ciment

1.4.3 Le mortier – colle

Citons enfin l'existence du mortier-colle, Il s'agit, comme son nom l'indique, d'un mortier adhésif, qui permet de coller un revêtement contre un mur ou un sol. Ce matériau est utilisé pour coller des plaquettes de parement, des carrelages muraux ou au sol, ou encore des dalles. Selon le mortier-colle choisi, l'utilisation peut se faire en intérieur et/ou en extérieur.

1.4.4 Le mortier bâtard

Le mortier bâtard est composé de sable, et à part plus ou moins égale, de ciment et de chaux. Il allie la résistance du ciment et la souplesse de la chaux. Son onctuosité le rend facile à travailler et limite le risque de fissuration.

1.4.5 Le mortier – hydrofuge

Comme son nom l'indique, le mortier hydrofuge est un mortier résistant à l'eau, qui permet d'éviter les problèmes d'humidité sur une surface. Il permet de :

- Boucher des fissures, • Enduire un mur, • Réaliser des chapes.

On l'utilise avant tout dans les lieux humides (salle de bain, extérieur, etc.) ou encore pour concevoir des réalisations étanches, comme un bassin de piscine.

1.5 Classification des mortiers

1.5.1 Selon leur domaine d'utilisation

Généralement les mortiers varient selon leur domaine d'application, on peut citer

Les catégories suivantes :

- Mortier de pose.
- Mortier de joints.
- Mortier pour les crépis
- Mortier pour le sol.
- Mortier pour les stucs.
- Pierres artificielles.
- Support pour les peintures murales.
- Mortier d'injection.
- Mortier pour les mosaïques.
- Mortier de réparation pour pierres. [11]

1.5.2 Selon la composition :

Les mortiers se partagent en différents types :

- Mortier de ragréage Le mortier de ragréage est un mélange de sable 0/1, de ciment et d'eau. L'ajout d'adjuvants est recommandé, notamment l'hydrofuge pour les façades extérieures
- Mortier de montage Le mortier de montage se fabrique en mélangeant du sable, du ciment et de l'eau. Pour monter un mur et assembler des blocs de béton entre eux, c'est le mortier de montage qui est utilisé car il est d'une grande résistance et d'une prise rapide, Le sable à utiliser doit être plutôt fin : partir sur du 0/1 ou du 0/4.
- Mortier bâtarde Le mélange de ciment et de chaux permet d'obtenir conjointement les qualités de ces deux liants. Généralement, on utilise la chaux et le ciment par parties égales ; mais on mettra une quantité plus ou moins grande l'un ou de l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée.
- Mortier d'imperméabilisation Les mortiers d'imperméabilisation sont utilisés dans le cadre de travaux situés dans des lieux humides comme la salle de bain, les abords de piscine. Ils ont une plus grande résistance à l'humidité. Ils sont aussi utilisés pour tous les travaux de cuvelage, fondation et bassins.

- **Mortier rapide** Il est fabriqué avec du ciment prompt, il est rapide et résistant pour les scellements.
- **Mortier industriel** Ce sont des mortiers que l'on fabrique à partir de constituants secs, bien sélectionnés, conditionnés en sacs, contrôlés en usine et parfaitement réguliers. Pour utiliser ce type de mortier, il suffit de mettre la quantité d'eau nécessaire et malaxer pour ensuite les mettre en œuvre. Les fabricants de mortiers industriels proposent une gamme complète de produits répondant à tous les besoins. [11]

1.6 Classes des mortiers

- **Classe 1** : Adjuvant modifiant les caractéristiques des mortiers, bétons et coulis à l'état frais.
- **Classe 2** : Adjuvant modifiant les caractéristiques des mortiers, bétons et coulis pendant la prise et le durcissement.
- **Classe 3** : Adjuvant modifiant la teneur en air ou en autre gaz
- **Classe 4** : Adjuvant modifiant la résistance des mortiers, bétons et coulis.
- **Classe 5** : Adjuvant améliorant la durabilité des mortiers, bétons et coulis. [12]

1.7 Les emplois des mortiers

Les principaux emplois des mortiers en construction et génie civil se divisent en quatre applications majeures : les enduits de protection, les chapes de finition, les joints de maçonnerie et Les scellements et les calages. Contrairement au béton, le mortier ne contient pas de graviers, ce qui lui confère une texture fine idéale pour lier, recouvrir et lisser.

1.7.1 Les enduits

Un enduit en construction consiste en une couche de mortier appliquée sur un mur ou D en extérieur sur le manteau d'isolation de ce mur. Le crépi est un enduit qui se fait sur une muraille avec du mortier ou du plâtre et qu'on laisse raboteux (relief, picot) au lieu de le rendre uni. Ils sont traditionnellement des enduits minéraux : des mortiers de ciment, des mortiers de chaux, et des plâtres. [13]



Figure I.8 Les enduit [13]

1.7.2 Les chapes

En construction, une chape est une couche de mortier à base de ciment, de résine ou de chaux appliquée au sol, destinée à aplanir, niveler ou surfacer un support et/ou enrober des éléments pour ensuite recevoir les couches supérieures, par exemple du carrelage, un sol souple ou un parquet, flottant. [14]



Figure I.9 Les chapes [14]

1.7.3 Les joints de maçonnerie

Dans un mur ou un ouvrage de maçonnerie, un joint désigne généralement un intervalle qu'on maintient entre deux pierres naturelles ou artificielles (bloc de béton, brique, etc.) et qui se trouve rempli éventuellement de mortier et anciennement aussi de plâtre. De manière générale, on s'arrange pour que les joints ne soient pas superposés verticalement. [15]



Figure I.10 Les joints maçonneries [15]

1.7.4 Les scellements et les calages

La norme NF EN 1504-6 définit les mortiers de scellements. Grâce à une résistance très élevée, un mortier classé par cette norme permet de placer des ancrages (fixation de barres métalliques) fortement sollicités. Ils sont utilisés pour tout type de configuration. La norme NF P 18-821 définit les mortiers de calage. Ce type de mortier permet de définir un support résistant pour le calage de machines : centrifugeuses, turbines, etc. Ce mortier est également indispensable pour le calage de platines d'ancrage. Les opérations de scellement et de calage s'effectuent à l'aide de mortiers utilisant des liants hydrauliques. Après un gâchage à l'eau, le mortier obtenu est de consistance très fluide.

Il peut utiliser pour tout type de scellement et de calage. il existe plusieurs types de scellements de calage :

- Calage d'équipements industriels divers.
- Calage de dalles
- Calage de rails
- Calage de charpente.
- Etanchéité et calage de tuyauteries.
- Calage de pompe.

- Scellement de poutres, poteaux
- Scellement d'ancrages. [16]

1.8 Conclusion

Le mortier est un matériau dont la performance dépend étroitement de la qualité de ses constituants et de la rigueur de son dosage. La maîtrise de sa composition (liant, granulat, eau et adjuvants) est la condition sine qua non pour obtenir un produit résistant, durable et adhérent. C'est sur ce fondement scientifique que s'appuie le projet Nova Pad, dont l'objectif est de proposer un mortier sec préfabriqué, dosé avec précision, simple d'utilisation et exempt de tout gaspillage sur chantier

Chapitre 2 :
Caractérisation des matériaux de base
Et méthodologie des essais

2.1 Introduction

Une synthèse bibliographique a été réalisée afin de mettre en évidence les principales caractéristiques connues des matériaux composites mortier.

Pour rappel, les composites mortier-polymère renforcés par des fibres sont constitués de ciment, de sable et d'eau, auxquels sont ajoutés des polymères et des fibres. Afin de mener cette étude, il a d'abord été nécessaire de sélectionner et de caractériser les matériaux utilisés.

Dans ce chapitre, les matériaux retenus ainsi que les protocoles expérimentaux mis en œuvre pour réaliser le programme expérimental sont présentés. Seront successivement exposés les essais et les procédures expérimentales, l'identification des matériaux de base utilisés, puis la caractérisation des matériaux élaborés.

La formulation des mortiers repose sur l'utilisation de différents constituants couramment employés et disponibles localement.

Les différents constituants utilisés sont les suivants :

- CEM I/42.5
- Poudre de verre
- Sable de Oued Souf,
- Eau de Robinet,
- Fiber de verre

2.2 Matériaux de base

2.2.1 Caractéristique de sable

La norme NF P18-541 indique que le sable peut présenter des caractéristiques le rendant apte à la fabrication des mortiers. Les granulats utilisés dans les ouvrages de bâtiment et de génie civil doivent satisfaire aux exigences de qualité et aux caractéristiques spécifiques requises pour chaque domaine d'application. À cet effet, la détermination de leurs propriétés au moyen de différents essais de laboratoire est indispensable.

Le sable utilisé dans cette étude provient du gisement d'Oued Souf, situé à environ 620 km au sud-est d'Alger. Il s'agit d'un sable dunaire naturel, principalement constitué de fines particules siliceuses propres, présentant des grains généralement isométriques et arrondis, dont les dimensions varient de 0,08 à 3 mm

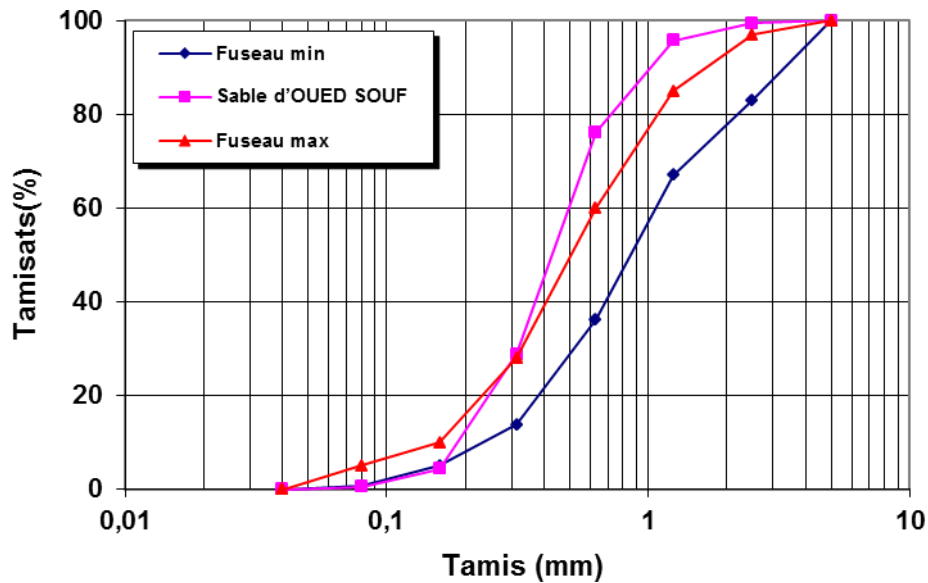


Figure II.1 Courbe granulométrique du sable utilisé.

La caractéristique physique de la masse volumique est considérée comme un paramètre essentiel influençant le comportement du béton à l'état frais et, par conséquent, ses performances après durcissement. Différentes définitions de la masse volumique peuvent être attribuées aux granulats, notamment la masse volumique apparente et la masse volumique absolue (NF EN 1097-3).

L'équivalent de sable est un paramètre qui caractérise la propreté du sable et renseigne sur la présence d'éléments fins, principalement d'origine argileuse, végétale ou organique, à la surface des grains.

Les caractéristiques physiques et chimiques des différents granulats utilisés sont présentées dans le Tableau II.1.

Tableau II.1. Caractéristiques physiques et chimiques des granulats utilisés.

	Densité absolue (kg/m ³)	Densité apparente (kg/m ³)	ESP (%)
Sand	2608	1617	87

2.2.2 Ciment

Le ciment utilisé est de type **CEM I 42,5**. Les fiches techniques fournies par la cimenterie ont été exploitées afin de déterminer les différentes caractéristiques chimiques, physiques et mécaniques de ce ciment.

Les résultats de ces caractérisations sont présentés dans le **Tableau 2.2**.

Elément	CaO	SiO ₂	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	K ₂ O	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Densité absolue (kg/m ³)	Finesse (cm ² /g)
CEM I 42.5	61,60	20,40	/	1,73	5,53	/	/	3,54	2,29	3100	3600

2.2.3 Poudre de verre

Le verre pilé est aujourd'hui principalement utilisé comme matériau à recycler en verre dans des bétons ou comme abrasif dans certains matériaux de sablage pour le décapage. La poudre de verre est un ajout cimentaire alternatif de couleur blanche. Elle est obtenue après la collecte et le broyage des fragments de verre coloré. Sa haute teneur en silice amorphe SiO₂ lui confère des propriétés pouzzolaniques en se combinant avec la chaux pour produire d'autres hydrates. Les étapes nécessaires pour obtenir une poudre de verre sont :

1-Nettoyage

- 2- Concassage

3- Broyage

4- Tamisage par tamis 5 mm

5- Tamisage par tamis 0.08

Les résultats de ces caractérisations sont présentés dans le **Tableau II.3**.

Tableau II.2 Caractéristique chimique de la poudre de verre.

Elément	CaO	SiO ₂	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Densité absolue (g/cm ³)	Densité apparente (g/cm ³)	Finesse (cm ² /g)
Poudre de verre	0.99	88.6	0	0,2	0.964	0.39	2.24	1.4	2500

2.2.4 L'eau

L'eau utilisée dans cette étude est de l'eau du robinet, fournie par le laboratoire de génie civil de l'Université de Bordj Bou Arreridj.

2.2.5 Fibres de verre

Dans cette étude, des fibres de verre d'une longueur de 1,5 cm ont également été utilisées dans cette étude.



Figure II.2 Fibre de verre.

2.3 Composition de différents mélanges

Cette étude a consisté à incorporer différents teneurs en fibres de verre (0,15 %, 0,3% du volume total du mortier) dans un mortier contenant différents dosages de la poudre de verre 5% et 20%. Les différentes compositions des mélanges sont présentées dans le **Tableau 2.4**.

Tableau 2.4 La composition des différents mélanges de mortier utilisés.

Désignation mixtures	Ciment (g)	Verre (g)	Sable (g)	Water (g)	Fiber (g)
MT	450	0	1350	225	0
M0.15F	405	0	1350	225	3.5
M0.3F	405	0	1350	225	7
M0.15F-10V	405	45	1350	225	3.5
M0.15F-15V	382.5	67.5	1350	197.5	3.5
M0.3F-10V	405	45	1350	197.5	7
M0.3F-15V	382.5	67.5	1350	197.5	7

2.4 Méthodes expérimentales

2.4.1 Matériel utilisé

- a) - Un malaxeur à deux vitesses : lente et rapide,
- b) - un jeu de tamis de : 0,40 – 0,50 – 0,63 – 0,80 – 1,00 mm, dans le cas où l'on désire reconstituer le sable normalisé
- c)- une balance précise au gramme, de portée au moins égale à 10 kg
- d)- des bacs

2.4.2 Coffrage

Ces moules démontables, constitués de tôle d'acier, ont été imprégnés par un agent démoulant pour faciliter l'extraction des poutres après la prise du mortier. Tous ont la même section transversale de 4mm x 4mm x 16mm



Figure II.5 Moule utilisé.

2.4.3 Coulage de mortiers

Les éprouvettes sont de forme prismatique 4cm x 4cm x 16cm. Elles doivent être moulées le plus vite possible après la confection du mortier.

Le moule métallique à trois alvéoles et sa hausse étant fermement fixés à la table à choc, on introduit la première des deux couches de mortier. La couche est étalée uniformément en

utilisant la grande spatule puis serrée par 60 chocs. La deuxième couche est alors introduite, nivelée avec la petite spatule et serrée à nouveau par 60 chocs.



Figure II.6 Coulage les éprouvettes

2.5 Essais sur les mortiers polymères à l'état frais

La fluidité des matériaux à base de ciment est une propriété largement utilisée dans le domaine de la construction pour évaluer leur comportement rhéologique et leur consistance. L'essai de fluidité a été réalisé à l'aide d'une table à secousses, conformément à la norme ASTM C1437-20, en utilisant un moule tronconique conforme aux spécifications de cette norme (70 mm et 100 mm de diamètre, pour une hauteur de 50 mm). Chaque formulation a été soumise à trois essais afin de garantir la fiabilité des résultats.



Figure II.7 Essai d'étalement.

2.6 Performances mécaniques des mortiers

2.6.1 Résistances à la compression et à la flexion

Les résistances à la compression et à la flexion des mortiers modifiés par des polymères ont été déterminées conformément à la norme EN 196-1. Les essais ont été réalisés sur des éprouvettes de dimensions $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$, après des durées de cure de 7 et 28 jours.



Figure II.8 Essais de résistance à la compression et à la flexion des mortiers

2.7 Conclusion

Ce chapitre a été consacré à la présentation des matériaux de base ainsi qu'à la méthodologie expérimentale adoptée dans cette étude. Les principales caractéristiques physiques, chimiques et mécaniques des constituants utilisés, à savoir le ciment CEM I 42,5, le sable d'Oued Souf, la poudre de verre, l'eau de gâchage et les fibres de verre, ont été présentées afin de justifier leur choix et de mettre en évidence leur influence potentielle sur les performances des mortiers élaborés.

Les différentes formulations retenues ont ensuite été décrites en faisant varier les teneurs en poudre de verre et en fibres de verre, dans le but d'évaluer leur effet sur le comportement des mortiers. Les procédures de préparation, de conservation et de cure des éprouvettes ont été réalisées conformément aux normes en vigueur, garantissant ainsi la reproductibilité et la fiabilité des résultats expérimentaux.

Enfin, les méthodes d'essai mises en œuvre, notamment les essais sur les mortiers à l'état frais (fluidité) et les essais mécaniques (résistances à la compression et à la flexion), ont été présentées. Ces essais constituent la base de l'analyse des performances des différentes formulations. Les résultats obtenus et leur interprétation feront l'objet du chapitre suivant.

Chapitre 3

Résultats et discussion

3.1 Introduction

Après la présentation des matériaux utilisés, des formulations retenues et de la méthodologie expérimentale dans le chapitre précédent, ce chapitre est consacré à l'analyse des résultats obtenus sur les différents mortiers élaborés. L'objectif principal est d'évaluer l'influence de l'incorporation de la poudre de verre, utilisée comme substitution partielle du ciment, ainsi que des fibres de verre, employées comme renforcement, sur les propriétés des mortiers.

Dans un premier temps, les performances des mortiers à l'état frais sont analysées à travers l'essai d'étalement, afin d'évaluer l'effet des différentes formulations sur leur ouvrabilité. Ensuite, les propriétés mécaniques des mortiers sont étudiées au moyen des essais de résistance à la flexion et à la compression réalisés après 7 et 28 jours de cure. Les résultats obtenus sont comparés à ceux du mortier témoin afin de mettre en évidence l'effet de la poudre de verre et des fibres de verre sur le comportement mécanique des matériaux.

Enfin, une discussion des résultats est proposée en s'appuyant sur les mécanismes physiques et chimiques impliqués, notamment l'effet de remplissage de la poudre de verre, son activité pouzzolanique et le rôle des fibres de verre dans le contrôle de la fissuration et l'amélioration des performances mécaniques des mortiers.

3.2 Etalement

Les résultats de l'essai d'étalement des différents mortiers montrent que l'incorporation des fibres de verre influence sensiblement l'ouvrabilité des mélanges. Le mortier témoin (MT) présente un étalement de 178 mm, indiquant une bonne fluidité. En revanche, l'ajout de 0,15 % et 0,30 % de fibres de verre entraîne une diminution de l'étalement à 171 mm et 164 mm, respectivement. Cette réduction est attribuée à la capacité des fibres à former un réseau tridimensionnel au sein de la matrice, ce qui augmente les frottements internes et limite la mobilité du mortier frais.

L'incorporation de la poudre de verre améliore légèrement la fluidité des mortiers. En effet, pour une teneur en fibres constante de 0,15 %, l'étalement passe de 171 mm à 176 mm avec 10 % de poudre de verre, puis atteint 180 mm avec 15 % de poudre de verre. Une tendance similaire est observée pour les mortiers contenant 0,30 % de fibres, avec des étalements de 169 mm et 173 mm pour des taux de substitution de 10 % et 15 %, respectivement.

Cette amélioration peut être expliquée par l'effet de remplissage (« *filler effect* ») de la poudre de verre, dont les particules fines occupent les vides entre les grains de ciment et de sable,

améliorant ainsi la compacité du mélange et facilitant l'écoulement du mortier. En outre, la surface lisse des particules de verre réduit les frottements internes, ce qui favorise une meilleure ouvrabilité.

Dans l'ensemble, les résultats montrent que les fibres de verre diminuent la maniabilité des mortiers, tandis que la poudre de verre compense partiellement cet effet en améliorant leur fluidité. Le mélange M0.15F-15V présente le meilleur étalement (180 mm), ce qui traduit un bon compromis entre l'incorporation des fibres et l'amélioration de l'ouvrabilité apportée par la poudre de verre.

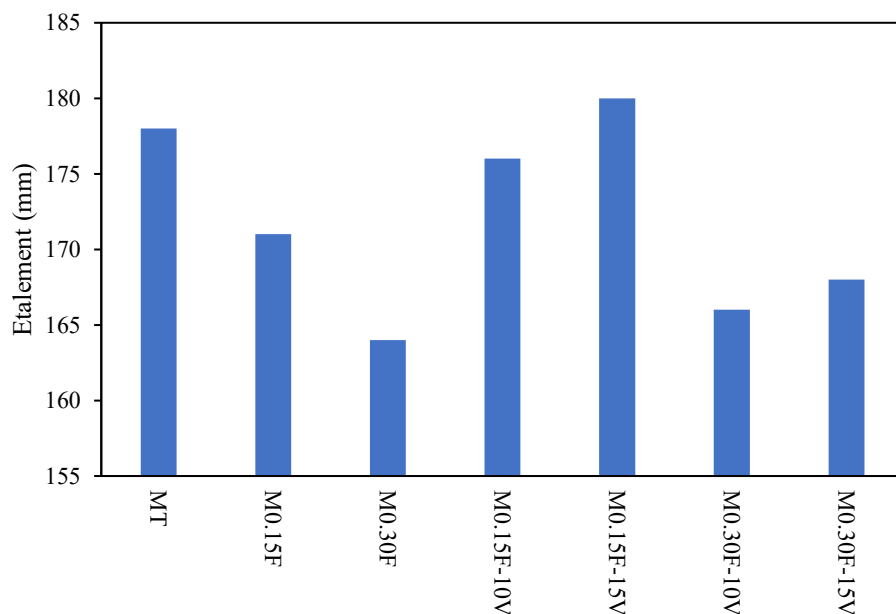


Figure III.1 Etalement de différents mélanges.

3.3 Résistance à la flexion

Les résultats de la résistance à la flexion des différents mortiers à 7 et 28 jours montrent une amélioration progressive des performances mécaniques avec l'incorporation des fibres de verre et de la poudre de verre.

À 7 jours, le mortier témoin (MT) présente une résistance à la flexion de 6,3 MPa. L'ajout de 0,15 % de fibres de verre permet d'augmenter cette résistance à 6,9 MPa, soit un gain d'environ 9,5 %. Lorsque la teneur en fibres est portée à 0,30 %, la résistance atteint 7,2 MPa, correspondant à une amélioration d'environ 14,3 % par rapport au mortier témoin. Cette évolution s'explique par le rôle des fibres, qui assurent le pontage des microfissures, retardent

leur propagation et améliorent ainsi la capacité du matériau à résister aux sollicitations en flexion.

L'incorporation de la poudre de verre entraîne une amélioration supplémentaire des performances. Pour une teneur en fibres de 0,15 %, la résistance passe de 6,9 MPa à 7,3 MPa avec 10 % de poudre de verre, puis à 7,6 MPa avec 15 % de substitution. Une tendance similaire est observée avec 0,30 % de fibres, où les résistances atteignent respectivement 7,5 MPa et 7,8 MPa pour des taux de substitution de 10 % et 15 %.

À 28 jours, toutes les formulations présentent une augmentation significative de la résistance à la flexion en raison de la poursuite de l'hydratation du ciment et du développement des produits de réaction pouzzolanique. Le mortier témoin atteint 7,8 MPa, tandis que les mortiers renforcés par des fibres seules présentent des résistances de 8,6 MPa et 9,0 MPa. Les formulations incorporant simultanément des fibres de verre et de la poudre de verre affichent les meilleures performances, avec des résistances comprises entre 9,1 MPa et 9,8 MPa.

La meilleure résistance est obtenue pour le mélange M0.30F-15V, qui atteint 9,8 MPa, soit une augmentation d'environ 25,6 % par rapport au mortier témoin. Cette amélioration résulte de l'action combinée des fibres de verre, qui limitent l'ouverture et la propagation des fissures, et de la poudre de verre, dont les particules fines améliorent la compacité de la matrice cimentaire. De plus, l'activité pouzzolanique de la poudre de verre favorise la formation supplémentaire de gel C-S-H, ce qui densifie la microstructure et renforce l'interface entre les constituants du mortier.

Ces résultats montrent ainsi qu'une incorporation combinée de fibres de verre et de poudre de verre permet d'améliorer efficacement le comportement en flexion des mortiers, en particulier aux âges avancés de cure.

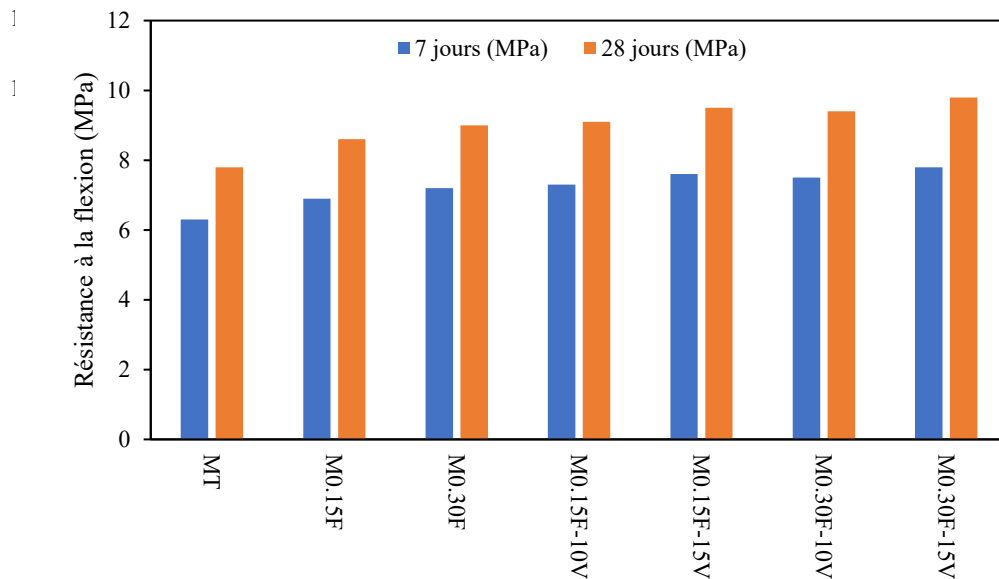


Figure III.2 Résistance à la flexion de différents mélanges

3.4 Résistance à la compression

Les résultats des essais de résistance à la compression réalisés à 7 et 28 jours mettent en évidence une amélioration progressive des performances mécaniques des mortiers en fonction de l'incorporation des fibres de verre et de la poudre de verre.

À 7 jours, le mortier témoin (MT) présente une résistance à la compression de 38,2 MPa. L'ajout de 0,15 % de fibres de verre augmente cette résistance à 39,5 MPa, soit un gain d'environ 3,4 %, tandis que l'incorporation de 0,30 % de fibres permet d'atteindre 40,1 MPa, correspondant à une amélioration d'environ 5,0 %. Cette augmentation reste modérée, car les fibres de verre contribuent principalement à améliorer le comportement en traction et en flexion plutôt que la résistance à la compression.

L'association des fibres de verre avec la poudre de verre conduit à une amélioration plus importante des performances. Les mortiers contenant 10 % de poudre de verre présentent des résistances de 42,6 MPa et 43,2 MPa pour des teneurs en fibres de 0,15 % et 0,30 %, respectivement. Lorsque le taux de substitution en poudre de verre est porté à 15 %, les résistances atteignent 43,8 MPa et 45,0 MPa, soit une augmentation de près de 18 % par rapport au mortier témoin.

À 28 jours, les résistances à la compression augmentent pour l'ensemble des formulations grâce à la poursuite de l'hydratation du ciment et au développement des réactions pouzzolaniques de la poudre de verre. Le mortier témoin atteint une résistance de 49,6 MPa,

tandis que les mortiers contenant uniquement des fibres de verre développent des résistances de 51,3 MPa et 52,0 MPa pour des teneurs respectives de 0,15 % et 0,30 %.

Les meilleures performances sont obtenues avec les formulations incorporant simultanément des fibres de verre et de la poudre de verre. Les résistances atteignent 55,4 MPa pour le mélange M0.15F-10V, 57,1 MPa pour M0.15F-15V, 56,3 MPa pour M0.30F-10V et 58,8 MPa pour M0.30F-15V. Cette dernière formulation présente la résistance la plus élevée, avec une augmentation d'environ 18,5 % par rapport au mortier témoin à 28 jours.

Cette amélioration est principalement attribuée à l'effet de remplissage (*filler effet*) de la poudre de verre, qui réduit la porosité et améliore la compacité de la matrice cimentaire. Par ailleurs, son activité pouzzolanique conduit à la consommation de l'hydroxyde de calcium libéré lors de l'hydratation du ciment, favorisant ainsi la formation supplémentaire de gel de silicate de calcium hydraté (C-S-H), responsable de l'augmentation des résistances mécaniques. Les fibres de verre participent également à l'amélioration du comportement du matériau en limitant le développement des microfissures sous chargement et en renforçant la cohésion de la matrice.

Dans l'ensemble, les résultats montrent que la combinaison de la poudre de verre et des fibres de verre permet d'améliorer significativement la résistance à la compression des mortiers, particulièrement à 28 jours, où les effets du filler et de la réaction pouzzolanique deviennent plus marqués.

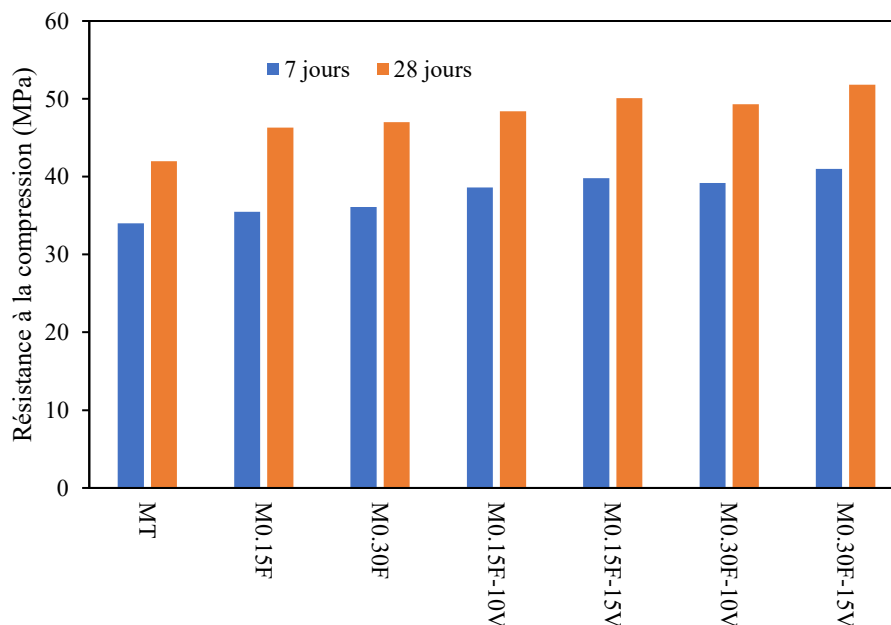


Figure III.3 Résistance à la compression de différents mélanges

4. Application pratique d'un nouveau mortier de joint :

À la lumière de cette étude, nous avons mis au point un panneau de mortier sec en y incorporant certains additifs chimiques. Cette étude s'inscrit dans le cadre du développement des matériaux de construction et de la modernisation des techniques de mise en œuvre dans le domaine du génie civil, où la problématique réside dans la recherche d'alternatives efficaces au mortier traditionnel garantissant une réduction du gaspillage de matériaux et une accélération du rythme des travaux sur chantier, tout en préservant l'efficacité structurelle.

Cet outil permet de déterminer, à partir des dimensions d'une feuille de mortier sec et du nombre de pièces à produire, la quantité de chaque constituant ainsi que le coût de fabrication associé. Il reprend les plages de formulation établies dans le cadre du mémoire de master, développé comme alternative locale au produit allemand.

4.1. Paramètres géométriques

Ces paramètres définissent le volume de mélange sec nécessaire par feuille et pour la série de production.

Paramètre	Valeur par défaut	Plage usuelle
Longueur (cm)	20	10 – 30
Largeur (cm)	10	10 – 30
Épaisseur (mm)	8	6 – 8 (recommandé)
Nombre de feuilles	50	1 – 500
Densité du mélange sec (kg/m ³)	1700	1600 – 1900

4.2. Etapes de fabrication de la plaque de mortier

➤ Préparation et pesée des matières premières

Dosage précis de chaque composant selon la formulation (ciment Portland, sable classé, HPMC, poudre EVA/VAE, fibres de renforcement) à l'aide d'une balance de précision.



Figure III.4. Différents produits utilisés

➤ Mélange à sec (pré-mélange)

Mélange homogène de tous les composants secs dans un mélangeur à faible vitesse afin d'assurer une répartition uniforme du liant, des adjuvants et des fibres, évitant tout agglomérat.



Figure III.5. Malaxeur.

➤ Mise en forme (moulage)

La poudre homogénéisée est versée dans un moule aux dimensions souhaitées (20×10 cm), puis légèrement compactée manuellement ou mécaniquement pour assurer un contact optimal entre les particules.



Figure III.6. Moule

➤ **Compactage sous presse**

Application d'une pression mécanique contrôlée (presse manuelle ou hydraulique) sur le moule, permettant de densifier la plaque et de favoriser la formation du réseau adhésif EVA/VAE entre les grains.



Figure III.7 Presse hydraulique

➤ **Séchage au four**

Les plaques compactées sont placées dans un four à une température contrôlée (60 à 90°C selon les essais) pendant une durée de 4 à 6 heures, permettant l'évaporation de l'humidité résiduelle et l'activation du liant thermofusible.



Figure III.8 Four

➤ **Refroidissement sous pression**

Refroidissement progressif des plaques, idéalement encore sous légère pression ou dans le moule, afin de permettre à l'adhésif EVA/VAE de se resolidifier en maintenant la cohésion des grains, évitant fissures et déformations.

➤ Démoulage et contrôle qualité

Une fois refroidies et stabilisées, les plaques sont démoulées puis inspectées visuellement (fissures, homogénéité, épaisseur) avant les essais de caractérisation physico-mécanique (résistance, adhérence, poids)



Figure III.9 Produits finaux

➤ Conditionnement et stockage

Emballage des plaques conformes dans des conditions protégées de l'humidité, prêtes pour le transport vers le chantier.

4.3. Prototype final



EN 6 ÉTAPES VERS UNE MAÇONNERIE PARFAITE [18]



- Avant de placer les plaques, brossez la surface de pose des blocs et humidifiez-les



- Les plaques de mortier doivent être posées à ras les unes contre les autres sur la maçonnerie humidifiée.



- Si nécessaire, coupez la plaque de mortier sur mesure.



- Les plaques de mortier doivent être humidifiées sur toute leur surface jusqu'à saturation.



- Lorsque l'eau est visiblement absorbée par la plaque de mortier, le bloc doit être posé dans un délai de 1 à 3 minutes.



- Les blocs doivent ensuite être alignés à l'aide d'un maillet en caoutchouc. Contrôlez l'alignement.

3.1 Conclusion

Ce chapitre a permis de présenter et d'analyser les résultats expérimentaux obtenus sur les différents mortiers élaborés à base de poudre de verre et renforcés par des fibres de verre. Les essais réalisés à l'état frais et à l'état durci ont mis en évidence l'influence de ces deux constituants sur les performances des mortiers.

Les résultats de l'essai d'étalement montrent que l'incorporation des fibres de verre réduit légèrement l'ouvrabilité des mortiers en raison de l'augmentation des frottements internes et de la formation d'un réseau de fibres au sein de la matrice. En revanche, l'ajout de poudre de verre améliore la fluidité des mélanges grâce à son effet de remplissage et à la finesse de ses particules, permettant ainsi de compenser partiellement la perte d'ouvrabilité induite par les fibres.

Les essais mécaniques ont révélé une amélioration des résistances à la flexion et à la compression avec l'augmentation des teneurs en fibres de verre et en poudre de verre. Les fibres de verre ont contribué à limiter la propagation des microfissures et à améliorer la ductilité du matériau, tandis que la poudre de verre a favorisé la densification de la matrice cimentaire par son effet filler et son activité pouzzolanique. Ces deux mécanismes ont permis d'obtenir des performances mécaniques supérieures à celles du mortier témoin.

Parmi les formulations étudiées, le mélange M0.30F-15V a présenté les meilleures performances globales, aussi bien en résistance à la flexion qu'en résistance à la compression à 28 jours. Ces résultats montrent que l'association de la poudre de verre et des fibres de verre constitue une solution prometteuse pour améliorer les propriétés des mortiers tout en valorisant un déchet verrier dans une démarche de développement durable. Dans l'ensemble, cette étude met en évidence le potentiel de la poudre de verre comme addition minérale et des fibres de verre comme matériau de renforcement pour la conception de mortiers plus performants, ouvrant ainsi des perspectives intéressantes pour leur utilisation dans les applications de construction durable

Conclusion générale

Cette étude a été consacrée à l'amélioration des performances des mortiers cimentaires par l'incorporation de poudre de verre comme matériau de substitution partielle du ciment et de fibres de verre comme élément de renforcement. Cette approche s'inscrit dans une démarche de valorisation des déchets verriers et de développement de matériaux de construction plus performants et plus respectueux de l'environnement.

L'étude expérimentale a permis de mettre en évidence l'influence de ces deux constituants sur les propriétés des mortiers, aussi bien à l'état frais qu'à l'état durci. Les résultats obtenus montrent que l'ajout des fibres de verre entraîne une légère diminution de l'ouvrabilité en raison de l'augmentation des frottements internes, tandis que la poudre de verre améliore la fluidité grâce à son effet de remplissage et à la finesse de ses particules.

Les essais mécaniques ont révélé une amélioration progressive des résistances à la flexion et à la compression avec l'augmentation des teneurs en fibres de verre et en poudre de verre. L'action combinée de l'effet filler de la poudre de verre, de son activité pouzzolanique et du rôle des fibres dans le contrôle de la fissuration a permis d'obtenir des mortiers plus compacts, plus résistants et plus durables.

Parmi les formulations étudiées, le mélange contenant 15 % de poudre de verre et 0,30 % de fibres de verre (M0.30F-15V) a présenté les meilleures performances, avec une résistance à la compression atteignant près de 59 MPa et une résistance à la flexion proche de 10 MPa après 28 jours de cure. Ces résultats démontrent que la combinaison de ces deux matériaux constitue une solution efficace pour améliorer les propriétés mécaniques des mortiers tout en réduisant la consommation de ciment.

Enfin, cette recherche a permis de proposer une application concrète par le développement d'une plaque de mortier sec préfabriquée (Nova Pad), conçue pour faciliter la mise en œuvre sur chantier, limiter les pertes de matériaux et garantir un dosage précis des constituants. Cette innovation constitue une alternative intéressante aux mortiers préparés de manière traditionnelle et répond aux exigences actuelles de qualité, de rapidité d'exécution et de développement durable.

En perspective, il serait intéressant de compléter cette étude par l'évaluation de la durabilité à long terme des formulations développées, notamment vis-à-vis des cycles de gel-dégel, des attaques chimiques, de la carbonatation et de l'absorption d'eau. D'autres travaux pourraient également porter sur l'optimisation des formulations à l'aide de méthodes statistiques ou d'intelligence artificielle, ainsi que sur une évaluation technico-économique et

environnementale à l'échelle industrielle afin de favoriser le transfert de cette technologie vers le secteur de la construction.

Références

- [I] Worrell, E., Price, L., Martin, N., Hendriks, C., & Meida, L.O. (2001). Carbon dioxide emissions from the global cement industry. *Annual Review of Energy and the Environment*, 26, 303–329.
- [1] BOUALI Khaled. (2014). « Elaboration et caractérisation thermomécanique des mortiers à base d'ajouts de déchets de briques réfractaires ». Mémoire de magister université m'Hamed Bougera Boumerdes.
- [2] BENHAMOU. (1994). « Comportement rhéologique des coulis de liants hydrauliques ultrafins destinée à l'injection », Thèse de doctorat en géologie de L'Ingénieur.
- [3] Laldji. (2015). Cours-Béton -ETS S-
- [4] Jean-Pierre Adam. Sixième édition. La construction romaine. Matériaux et technique Grands manuels picards.
- [5] Dr. A. MERDAS. Cours de MDC U.F.A. de Sétif.
- [6]-<https://www.guidebeton.com/eau-gachage>
- [7] Elbaremostapha-zelit Mohamed « comportement sur les bétons à l'état frais et durci en présence l'adjuvants » Mémoire d'ingénieur d'état, école nationale travaux public.
- [8] Users.skynet.be/15102/mortiers.htm
- [9] SHEKHAWAT, B. S& AGGARWAL, D. V.2014. Utilisation of Waste Glass Powder in Concrete—A Literature Review. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, vol. 8753
- [10] SYLVER.P. (2005 ,2006). <<science des matériaux>> université pierre et marie curie
- [11] Mr. BERRAIH MIMOUN. (ENSET Oran 2009/2010). « Etude des mortiers contenant de la pouzzolane naturelle et des déchets de verre » mémoire pour l'obtention du diplôme de magister en Génie Civil, option géo matériaux.
- [12] Charles A.S, Marcel Dekker, Inc. (2004). Herd-book.
- [13] Source de l'image <http://www.rectavit.be/fr/easyfix/Toepassingen.aspx> [14]<http://www.materiaux-produits.fr>
- [15] Fédération Européenne calages. Statistique mondiales écologique

[16] Hakmi Mohamed amine (2011). Valorisation des déchets en verre dans l'industrie des briques réfractaire. Mémoire de magister université Dr Moulay Tahar de Saida.

[17]<https://www.hnbotaichem.com/>.

[18] https://www.ploegsteert.com/media/1yuay1wg/2019-brochure-mortelpad_fr.pdf