

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (UMMTO)

Faculté du Génie de la Construction

Département de Génie Civil



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

*En vue de l'obtention du diplôme de master
de l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou*

Filière : Génie Civil

Spécialité : Structures

Thème

**Etude du comportement mécanique d'un
mortier à base de fibres de recyclage**

Présenté par :

M^{elle} MOHELLEBI Katia

Devant le jury composé de :

Mr BOUAFIA Youcef

Président

Mr BOUKAIS Said

Examineur

M^{me} SAIB Nacera

Promotrice

M^{me} TAOUCHE-KHELOUI Fatma

Co-encadreur

Promotion : 2024/2025

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude à Dieu, qui m'a donné la force, la patience et le courage nécessaires pour mener à bien ce travail.

Mes remerciements les plus sincères vont à ma promotrice, Mme SAIB N et à Mme KHELOUI F, pour m'avoir proposé ce sujet enrichissant et pour m'avoir accompagnée tout au long de ce mémoire. Leur disponibilité, leurs conseils avisés et leur encadrement bienveillant ont été d'une aide précieuse.

Je remercie également les ingénieurs : BEN AHMED Fadila, BOUHERAOUA Rachid ; du laboratoire du département de génie civil de l'UMMTO, pour leurs assistances techniques, leurs explications claires et leur contributions indispensables à la réalisation de la partie expérimentale de ce travail.

Je souhaite adresser une pensée toute particulière à une personne chère à mon cœur, pour son soutien constant, ses encouragements inestimables et son aide tout au long de ce mémoire .

Enfin, je remercie toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce modeste travail. À toutes et à tous.

Merci ♡♡♡





Dédicace

*À mes parents, ma chère maman et mon agréable papa,
qui m'ont soutenue avec amour et dévouement tout au long de ces années
d'études.*

À mes frères

*À tous ceux qui ont cru en moi,
et à moi-même, pour ma persévérance, mes efforts et ma force
intérieure.*

KATIA

RESUME :

Ce travail porte sur l'étude de comportement mécanique des mortiers à base de fibres de carton. L'objectif principal de ce travail est l'étude de l'effet de l'incorporation des fibres sur les propriétés mécaniques (résistance à la compression et résistance à la flexion trois points). Dans cette étude, nous avons fait varier deux paramètres tels que: la longueur des fibres (7cm, 10 cm) et le pourcentage en fibres (0.25%, 0.5%, 0.75%, 1%, 1.25% et 1.5%).

Les résultats montrent que, lors des essais de flexion trois points, les mortiers fibrés avec des fibres de carton ont présenté une amélioration notable de la résistance par rapport au mortier témoin, et ce, pour toutes les longueurs et dosages étudiés. En revanche, lors des essais de compression, c'est le mortier témoin qui a affiché une meilleure résistance, les fibres de carton n'ayant pas permis d'améliorer, voire ayant légèrement réduit, la capacité portante en compression

Mots clés : Mortier , Fibres , Comportement mécanique , Analyse expérimentale .

SOMMAIRE

Résumé

Introduction générale

Chapitre I : Le mortier de ciment : du mélange à l'application

I.1. Introduction	2
I.2. Définition.....	2
I.3. Composants du mortier	3
I .3.1.Le sable	3
I .3.2.Ciment	4
I.3.3. L'eau.....	4
I.3.4. Les adjuvants.....	5
I .4.Différents types de mortiers	6
I .4.1.Mortier de ciment.....	6
I .4.2.Mortier de chaux	7
I .4.3.Les mortiers bâtards	7
I .4.4.Mortier industriel.....	8
I .4.5.Mortiers fabriqués sur chantier.....	8
I .5 .Rôle du mortier	9
I .6.Domaine d'utilisation des mortiers	9
I .6.1. Mortier de maçonnerie	9
I .6.2. Mortier d'enduit	10
I .6.3. Les chapes	10
I .7. Avantage et inconvénient de l'utilisation des mortiers	11
I .7.1.Les avantages	11
I .7.2 .Les inconvénients	11
I.8. Différence entre mortier et béton... ..	12
I .9.Propriétés du mortier frais.....	13
I .10.Propriétés du mortier durci.....	14
I .11.Mortier avec fibres	16
I .11.1.Types de fibres	16
I .11.2.Domaine d'applications.....	19
I .11.3.Avantages et inconvénients	19

Chapitre II : Formulation et confection d'un mortier de ciment

II.1. Introduction.....	22
II.2. Présentation des matériaux étudiés	22

II.2.1. Sable.....	22
II.2.2. Le ciment	22
II.2.2.1. Composition chimique	23
II.2.2.2. Propriétés physiques et mécaniques.....	23
II.2.3. L'eau.....	23
II.2.4. Fibre de Carton	24
II.2.4.1. Quels papiers et cartons se recyclent	24
II.2.4.2. Quels papiers et carton ne se recyclent pas.....	24
II.2.4.3. Comment s'effectue un recyclage des boîtes de lait	25
II.2.4.4. Les avantages et inconvénients du recyclage de papier et de carton	25
II.3. Détermination des caractéristiques des matériaux	25
II.3.1. Masse volumique apparente [NF P18-554]	25
II.3.2. Masse volumique absolue [NF P18-555].....	26
II.3.3. Equivalent de sable [NF P 18-598].....	27
II.3.4. Analyse granulométrique par tamisage [NF P18-560].....	30
II.3.5. Module de finesse [NF P18-560]	33
II.4. Fibre de carton.....	34
II.5. Elaboration des éprouvettes	36
II.6. Appareils de mesure du comportement mécanique.....	39

Chapitre III : Interprétation des résultats

III.1. Introduction.....	43
III.2. Essai de flexion trois point	43
III.2.1. Influence du pourcentage de fibres sur le comportement du mortier en flexion	44
III.2.2. Influence de la longueur de fibres sur le comportement du mortier en flexion.....	45
III.3. Conclusion	48
III.4. Comportement en compression simple.....	49
III.4.1 Influence du pourcentage de fibres sur le comportement du mortier en compression ...	49
III.4.2 Influence de la longueur de fibres sur le comportement du mortier en compression.....	51
III.5. Conclusion	58
Conclusion générale	60

Liste des figures

Chapitre I : Le mortier de ciment : du mélange à l'application

Figure.I.1 : Mélange ciment et sable	2
Figure I.2: Le sable.....	3
Figure I.3 : Le ciment.....	4
Figure I.4 : Les adjuvants	5
Figure I.5 : Mortier de Ciment	6
Figure I.6 : Mortier de chaux.....	7
Figure I.7 : Mortier bâtards	7
Figure I.8 : Mortier industriel.....	8
Figure I.9 : Mortier de maçonnerie.....	10
Figure I.10 : Enduit de mortier de façade.....	10
Figure I.11: Chape ciment.....	11
Figure I.12:Plante et fibre de sisal.....	18
Figure I.13:Plante et fibres de chanvre	18
Figure I.14 : Plante et fibre de lin.....	18
Figure I.15 : Plante et fibres de jute.....	19

Chapitre II : Formulation et confection d'un mortier de ciment

Figure II.1 : Le sable utilisé.....	22
Figure II.2 : Type de ciment.....	23
Figure. II.3 : Différents étapes de l'essai (a-b-c-d-e)	26
Figure. II.4 : Essai de la masse volumique absolue	27
Figure. II.5 : Essai d'équivalent de sable.....	28
Figure. II.6 : Mesures des hauteurs (h_1 , h_2)	29
Figure. II.7 : Appareil de tamisage	31
Figure. II.8 : Courbe granulométrique du sable lavé.....	32
Figure. II.9 : Courbe granulométrique du sable non lavé.....	33
Figure. II.10 : Découpage de la boîte de lait.....	34
Figure. II.11 : Fibres obtenues après le découpage de longueur 7cm et 10cm.....	35
Figure. II.12 : Appareillage de laboratoire	35
Figure. II.13 : Elaboration des mortiers.....	38
Figure. II.14 : Introduction des fibres dans le mélange	38
Figure. II.15 : Coffrage des spécimens dans les moules.....	39

Figure. II.16 : Conservation des éprouvettes pendant 28 jours dans l'eau...	39
Figure. II.17 : Essai de traction par flexion	40
Figure. II.18 : Essai de compression.....	40

Chapitre III : Interprétation des résultats

Figure III.1: Courbe force-déplacement en flexion des mortiers (MF7)	44
Figure III.2: Courbe force-déplacement en flexion des mortiers (MF10)	45
Figure III.3 : Courbe force-déplacement en flexion des mortiers à 0.25% en fibres.....	45
Figure III.4 : Courbe force-déplacement en flexion des mortiers à 0.5% en fibres.....	46
Figure III.5 : Courbe force-déplacement en flexion des mortiers à 0.75% en fibres.....	46
Figure III.6 : Courbe force-déplacement en flexion des mortiers à 1% en fibres.....	47
Figure III.7: Courbe force-déplacement en flexion des mortiers à 1,25% en fibres.....	47
Figure III.8: Courbe force-déplacement en flexion des mortiers à 1,5% en fibres.....	48
Figure III.9 : Évolution de la résistance à la compression du mortier en fonction du pourcentage de fibres de carton (7 cm)	49
Figure III.10 : Évolution de la résistance à la compression du mortier en fonction du pourcentage de fibres de carton (10 cm).....	50
Figure III.11 : Comparaison des fibres de 7 et 10 cm de pourcentage de 0,25% par rapport au mortier témoin	51
Figure III.12 : Comparaison des fibres de 7 et 10 cm de pourcentage de 0,5% par rapport au mortier témoin	52
Figure III.13: Comparaison des fibres de 7 et 10 cm de pourcentage de 0,75% par rapport au mortier témoin	52
Figure III.14: Comparaison des fibres de 7 et 10 cm de pourcentage de 1% par rapport au mortier témoin	53
Figure III.15: Comparaison des fibres de 7 et 10 cm de pourcentage de 1,25% par rapport au mortier témoin	54
Figure III.16 : Comparaison des fibres de 7 et 10 cm de pourcentage de 1,5% par rapport au mortier témoin	54

Figure III.17 : Évolution de la résistance à la compression des mortiers fibrés en fonction du pourcentage et de la longueur des fibres de carton	55
Figure III.18: Etat des éprouvettes avant écrasement	56
Figure III.19: Etat des éprouvettes après écrasement	57

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Tableau comparatif ; Mortier vs Béton	12
Tableau.II.1:Masses volumiques du sable utilisé.....	27
Tableau.II.2:Valeurs d'essai d'équivalent de sable et le résultat obtenu pour le sable lavé.....	29
Tableau.II.3:Valeurs d'essai d'équivalent de sable et le résultat obtenu pour le sable non lavé.....	29
Tableau. II.4 : Valeurs de l'équivalent de sable.....	30
Tableau. II.5 : Résultats d'analyse granulométrique du sable lavé.....	31
Tableau. II.6 : Résultats d'analyse granulométrique du sable non lavé.....	32
Tableau. II.7 : Dosage des constituants du mortier témoin pour 3 éprouvettes	36
Tableau. II.8 : Dosage des composants du mortier renforcé selon différents taux d'incorporation de fibres de carton	36
Tableau II.9 : Masse des fibres utilisées	37
Tableau III.1:Résistance en flexion des mortiers étudiés.....	44
Tableau III.2:Résistance en compression des mortiers étudiés	49

INTRODUCTION GENERALE

Dans un contexte mondial marqué par la nécessité de préserver l'environnement et de promouvoir le développement durable, le secteur de la construction est appelé à innover en intégrant des matériaux plus écologiques et économiques. L'une des approches les plus prometteuses dans ce domaine consiste à valoriser les déchets solides en les réutilisant dans les matériaux de construction, en particulier dans les mortiers à base de ciment.

Parmi ces déchets, le carton usagé, largement produit et souvent jeté, présente un réel potentiel de valorisation. Une fois transformé en fibres, ce matériau cellulosique peut être intégré au mortier cimentaire pour en améliorer certaines propriétés, notamment en limitant la fissuration et en renforçant le comportement en traction. Cette démarche permet non seulement de réduire l'impact environnemental lié à l'accumulation de déchets, mais aussi de contribuer à la mise en place d'une économie circulaire dans le secteur du BTP.

Ce travail de recherche vise à étudier expérimentalement l'influence des fibres de carton sur le comportement du mortier, en particulier à l'état frais et à l'état durci. L'objectif est de mesurer l'impact de différentes longueurs et proportions de fibres sur des paramètres tels que la maniabilité, la résistance à la compression et la résistance à la flexion.

La première partie de ce mémoire est consacrée à une revue des connaissances sur les mortiers cimentaires classiques, leur composition, leurs propriétés mécaniques. La seconde partie présente les matériaux utilisés, ainsi que les fibres, la méthode de préparation des échantillons, et le protocole d'essais mis en œuvre pour caractériser le mortier modifié.

La troisième partie est dédiée à l'interprétation des résultats expérimentaux obtenus. À travers l'analyse comparative des données issues des essais mécaniques, l'impact de l'ajout de fibres de carton est évalué selon plusieurs critères. Les résultats mettent en évidence des tendances marquées, comme une amélioration de la ductilité et du comportement en flexion du mortier fibré, tandis que la résistance à la compression reste globalement peu influencée, ce qui rejoint les observations de la littérature. Cette analyse permet de mieux comprendre les effets des paramètres étudiés (longueur et pourcentage de fibres) sur les performances globales du matériau et d'identifier les configurations les plus prometteuses.

Ce mémoire se conclut par une synthèse des principaux résultats ainsi que des perspectives de recherche, en lien avec le développement de matériaux de construction durables et à faible

impact environnemental. L'intégration de fibres de carton recyclé dans les mortiers cimentaires s'inscrit dans une démarche innovante et responsable, qui mérite d'être approfondie à travers de futurs travaux portant, par exemple, sur la durabilité à long terme, les performances thermiques ou encore la compatibilité avec d'autres types de liants écologiques.

Chapitre I

LE MORTIER DE CIMENT : DU MELANGE A L'APPLICATION

I.1. Introduction

Dans le domaine de la construction moderne, les matériaux jouent un rôle déterminant dans la performance, la durabilité et la fonctionnalité des ouvrages.

Dans ce chapitre, nous abordons les mortiers, matériaux incontournables dans les travaux de maçonnerie et de finition. Différents types de mortiers existent selon la nature des liants utilisés et l'usage auquel ils sont destinés. Cette section présente leur composition, leurs domaines d'application, ainsi que les avantages et les inconvénients associés à chaque type. [1]

Ce chapitre introductif vise ainsi à poser les bases nécessaires à la compréhension des matériaux qui feront l'objet d'une étude plus approfondie dans les parties suivantes du mémoire.

I.2. Définition

Le mortier est un matériau de construction obtenu par mélange de liant, de sable et d'eau, éventuellement des adjuvants, réalisé dans des proportions bien définies de manière à obtenir une pâte de plasticité convenable pour la mise en œuvre. [1]

Il sert à lier les différents éléments de construction tels que des briques, des pierres, des blocs de béton (parpaings)... ou à exécuter des revêtements et des enduits de façade.[2]



Figure.I.1 :Mélange ciment et sable

I.3. Composants du mortier :

Le mortier est un des matériaux de construction, qui contient du ciment; de l'eau; du sable; des adjuvants et éventuellement des additions. Ils peuvent être très différents les uns des

autres selon la nature et les pourcentages des constituants, le malaxage, la mise en œuvre et la cure. [3]

I .3.1.Le sable :

Les sables utilisés sont les sables appelés “sable normalisé”. 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. [4]

Ils proviennent de deux sources :

- Les granulats Natural : Mer, Oued, Sahara. Ce cas représente la quasi-totalité des constructions.
- Les granulats de concassage : issu du concassage des granulats de carrière, et plus rarement du recyclage des déchets de construction



Figure I.2: Le sable

I .3.2.Ciment :

Le ciment est un produit moulu du refroidissement du clinker qui contient un mélange de silicates et d'aluminates de calcium porté à 1450 – 1550°C, température de fusion. Elle est

définie selon la norme NFP15301, comme une fine mouture inorganique qui gâchée avec l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit. Le ciment portland est constitué d'un mélange de clinker, de gypse et d'ajouts minéraux, le ciment est majoritairement composé de quatre phases anhydres. [5]

Il existe deux grandes familles de Ciments :

- **Les ciments Portland**, constitués majoritairement de silice et de chaux. Il est utilisé principalement dans les bétons de bâtiments et les ouvrages de génie civil.

Il existe deux grandes familles de Ciments :

- **Les ciments alumineux** qui se composent essentiellement d'alumine et de chaux.

D'autres types comme le ciment de haut fourneau, le ciment pouzzolanique, le ciment au laitier et aux cendres...



Figure I.3 :Le ciment

I.3.3. L'eau :

Le choix de l'eau de gâchage a aussi une grande importance car elle remplit un double rôle : elle sert à hydrater le ciment et ce qui est plus important, elle contribue à son ouvrabilité. Les mortiers devraient contenir la quantité d'eau maximale compatible avec une ouvrabilité optimale. L'eau devrait être propre et ne pas contenir de produits nocifs tels que des acides, des alcalis ou des matières organiques. Lorsqu'elle est potable, on peut l'utiliser.

I.3.4. Les adjuvants :

Les adjuvants sont des produits chimiques que l'on utilise dans le cas des bétons. Ajouté en petite quantité (généralement moins de 5 % du poids du ciment) à la composition du béton ou du mortier pour modifier certaines de ses propriétés, sans en changer la nature fondamentale.



Figure I.4 : Les adjuvants.

Les mortiers peuvent comporter différents types d'adjuvants [3] :

- **Les plastifiants** : Les réducteurs d'eau de premier niveau sont des adjuvants ajoutés au béton ou au mortier pour améliorer leur maniabilité sans augmenter la teneur en eau. Ils permettent de réduire la quantité d'eau nécessaire pour obtenir une consistance donnée, ce qui se traduit par une augmentation de la résistance mécanique à long terme. Ils agissent en dispersant les particules de ciment, ce qui réduit la friction entre elles. Cela rend le mélange plus fluide même avec moins d'eau.
- **Les entraîneurs d'air** : Les entraîneurs d'air sont des adjuvants ajoutés au béton ou au mortier pour incorporer intentionnellement de fines bulles d'air microscopiques (de l'ordre de 10 à 300 microns de diamètre) de manière uniforme dans toute la masse. Ils améliorent la résistance du béton au gel et au dégel, en évitant les fissurations dues à l'expansion de l'eau gelée dans les pores du béton.
- **Les modificateurs de prise (retardateurs, accélérateurs)** : Ils sont utilisés pour ajuster le temps de prise du béton ou du mortier. Ils se divisent en deux grandes catégories : *Retardateurs de prise* utilisés dans le bétonnage en climat chaud, bétons massifs (digues, barrages, fondations profondes) et le béton projeté (en combinaison avec accélérateurs) et les *Accélérateurs de prise* qui réduisent le temps de prise du béton, le faisant durcir plus rapidement. Ces derniers sont utilisés dans les travaux par

temps froid, réparations rapides, préfabrication et le béton projeté (tunnels, soutènements).

- **Les hydrofuges** : Les hydrofuges sont des adjuvants ajoutés au béton ou au mortier pour réduire leur perméabilité à l'eau, tout en maintenant leur porosité. Ils permettent de limiter la pénétration de l'eau liquide (pluie, humidité du sol) dans le matériau, sans bloquer la vapeur d'eau. Ils sont utilisés dans les mortiers de façade ou enduits, bétons de cuves, piscines, bassins, dans la réalisation des fondations, caves, murs enterrés et les zones exposées aux intempéries ou à l'humidité.

I.4. Différents types de mortiers :

Les types de mortiers sont choisis selon l'application. On utilise, comme pour les bétons, des formulations variées selon l'ouvrage à réaliser et les propriétés recherchées.

I.4.1. Mortier de ciment :

Le ciment Portland confère au mortier de maçonnerie sa résistance mécanique, notamment une résistance initiale élevée, essentielle dans un contexte de construction rapide où les murs doivent parfois supporter des charges importantes dès le lendemain de leur édification. Les mortiers à base de ciment prennent et durcissent rapidement. Le dosage est généralement effectué en volume, avec un rapport ciment/sable de 1/3, et un rapport eau/ciment d'environ 1/2. Un dosage élevé en ciment rend par ailleurs le mortier pratiquement imperméable. [2]



Figure I.5 : Mortier de Ciment

I .4.2.Mortier de chaux :

C'est un type de mortier où la chaux (chaux grasse ou chaux hydraulique) est utilisée comme liant et le sable est utilisé comme granulat fin. Ce mélange est couramment utilisé pour enduire les murs intérieurs et extérieurs.

Les mortiers de chaux sont gras et onctueux. Ils durcissent plus lentement que les mortiers de ciment, surtout lorsque la chaux est calcique. Il a de la souplesse mais il a moins d'imperméabilité que le ciment. [2]



Figure I.6 :Mortier de chaux

I .4.3.Les mortiers bâtards :

Ces mortiers utilisent comme liant un mélange de ciment et de chaux. En général, on emploie ces deux composants en parts égales, mais la proportion de l'un ou de l'autre peut varier selon l'usage prévu et les performances souhaitées. La chaux confère au mortier sa plasticité, tandis que le ciment en renforce la résistance mécanique et accélère le durcissement [6].



Figure I.7 :Mortier bâtards

I .4.4.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 mortiers, il suffit de mettre la quantité d'eau nécessaire et malaxer pour ensuite les mettre en œuvre.

Les mortiers peuvent contenir des liants et des sables variés ainsi que certains adjuvants et éventuellement des colorants. [7]

Les fabricants de mortiers industriels proposent une gamme complète de produits répondant à tous les besoins:

- Mortiers pour enduits de couleur et d'aspect varié.
- Mortiers d'imperméabilisation.
- Mortier d'isolation thermique.



Figure I.8 :Mortier industriel

I .4.5.Mortiers fabriqués sur chantier :

Ces mortiers sont préparés directement sur le chantier à partir de ciment et de sable. Le ciment utilisé est généralement un ciment courant, de type CPA ou CPJ, mais il peut aussi s'agir de ciments spéciaux, comme le ciment alumineux fondu. On emploie également des chaux

hydrauliques ou, dans certains cas, des liants à maçonner. Le sable utilisé est le plus souvent roulé (d'origine silico-calcaire), parfois concassé. Le gâchage se fait manuellement à la pelle ou à l'aide d'une petite bétonnière.

Ces mortiers présentent une certaine irrégularité, car les caractéristiques du sable peuvent varier d'une livraison à l'autre. Néanmoins, ce sable doit toujours être propre et posséder une granulométrie adaptée. Le dosage du sable se fait généralement en poids qui est recommandé mais peut aussi être réalisé en volume, notamment sur les petits chantiers. Dans ce cas, il est essentiel de prendre en compte le phénomène de foisonnement du sable. [4]

I .5 .Rôle du mortier :

Le mortier est indispensable à presque tous les travaux de maçonnerie, notamment pour monter un mur de brique ou de pierres, pour lequel il jouera le rôle essentiel de colle, permettant de solidariser les éléments entre eux. Il assure ainsi la cohésion et la bonne répartition des charges du mur. Lorsqu'il comble chacun des espaces entre les matériaux, il permet de réaliser des ensembles cohérents à la solidité variable selon le type de mortier employé.

Cependant, il peut aussi être utilisé comme enduit ou élément de scellement lors de réparations, contribuant à l'esthétique et à l'imperméabilité du mur de maçonnerie.

I .6. Domaine d'utilisation des mortiers :

I .6.1. Mortier de maçonnerie :

Lors de la construction en éléments maçonnés (comme les blocs de béton ou les briques), un mortier est utilisé pour les assembler. Celui-ci doit posséder des propriétés mécaniques suffisantes afin d'assurer la transmission des charges, ainsi qu'une bonne compacité pour garantir l'étanchéité de l'ouvrage. [9]



Figure I.9 : Mortier de maçonnerie

I .6.2. Mortier d'enduit :

L'utilisation des mortiers pour le revêtement des surfaces est l'une de leurs principales applications. En plus des enduits traditionnels en trois couches, on observe aujourd'hui un développement des enduits monocouches épais et des enduits isolants. [9]



Figure I.10 :Enduit de mortier de façade

I .6.3. Les chapes :

Les chapes ont pour rôle de niveler le dallage et d'en régulariser la surface. Elles peuvent servir de couche de finition ou bien constituer un support destiné à recevoir un revêtement de sol. [9]



Figure I.11: Chape ciment

I.7. Avantage et inconvénient de l'utilisation des mortiers

I.7.1. Les avantages :

- ✓ Joue un rôle d'écran contre la pénétration de l'eau, assurant une bonne protection des parois face aux conditions climatiques.
- ✓ Permet le renforcement de certains terrains de fondation par des injections, améliorant leur stabilité.
- ✓ Garantit l'unité structurelle de la maçonnerie en liant solidement les éléments entre eux, ce qui contribue à la robustesse de l'ouvrage.
- ✓ Offre une meilleure tenue aux contraintes mécaniques telles que les impacts, les variations de température et les microfissurations.
- ✓ Sert de couche de finition ou de base résistante à l'usure dans les surfaces soumises au passage, comme les dallages bétonnés [2].

I.7.2. Les inconvénients :

Poids élevé :

- ✓ Le mortier ajoute une charge supplémentaire à la structure en raison de son propre poids important.

Faible isolation thermique :

- ✓ Il offre peu de résistance thermique, ce qui peut entraîner des pertes de chaleur.

- ✓ Toutefois, l'isolation peut être améliorée en ajoutant une couche isolante ou en optant pour des bétons légers spécifiques.

I.8. Différence entre mortier et béton :

Avant de parler des différences entre le mortier et le béton, il est important de mentionner leur point commun principal : le ciment.

Le ciment est une poudre grise qui agit comme un liant hydraulique : il durcit au contact de l'eau et assure la cohésion des matériaux dans le béton ou le mortier, ce qui en fait un ingrédient essentiel.

Le mortier et le béton sont deux matériaux de construction à base de liants hydrauliques, souvent utilisés ensemble sur les chantiers, mais ayant des compositions et des usages bien différents.

Le **mortier** est un mélange composé de **ciment**, **sable** et **eau**. Il est principalement utilisé comme **matériau de liaison** entre les éléments de maçonnerie (briques, blocs, pierres) ou comme **enduit de finition** pour les murs. Il ne contient pas de granulats grossiers, ce qui lui confère une texture fine, adaptée aux travaux de finition ou d'assemblage.

Le **béton**, quant à lui, est constitué de **ciment**, **sable**, **eau** et de **graviers (ou granulats)**. Grâce à cette composition plus riche, le béton offre une **résistance mécanique supérieure**, ce qui le rend indispensable pour les **structures porteuses** : fondations, dalles, poutres, poteaux, etc.

Tableau I.1 : Tableau comparatif ; Mortier vs Béton

Élément de comparaison	Mortier	Béton
Composition	Ciment + sable + eau	Ciment + sable + gravier + eau
Consistance	Pâte fine	Mélange plus grossier
Résistance mécanique	Moyenne, suffisante pour lier des matériaux	Élevée, adaptée aux structures porteuses
Usage principal	Liaison de briques, blocs, enduits	Construction de dalles, fondations, poteaux
Travail de finition	Adapté aux finitions (enduits, joints)	Peu adapté aux travaux de finition
Mise en œuvre	Plus facile, maniable	Plus lourd et difficile à mettre en place
Temps de prise	Rapide	Variable selon le dosage et la température
Durabilité	Moins durable que le béton	Très durable

I.9. Propriétés du mortier frais :

Lors de sa mise en œuvre, le mortier présente plusieurs propriétés déterminantes pour garantir sa bonne application et sa performance finale. Parmi ces propriétés, on distingue :

Consistance (ouvrabilité) :

La consistance, également appelée ouvrabilité, constitue la propriété essentielle du mortier frais. Elle reflète sa capacité à s'étaler aisément à la truelle, de manière à combler efficacement les joints et fissures des éléments de maçonnerie. Cette ouvrabilité résulte d'un équilibre entre la plasticité, la compacité et la cohésion du mélange. La quantité d'eau ajoutée joue un rôle déterminant dans l'obtention de la consistance désirée : une teneur en eau insuffisante rend le mortier difficile à manipuler, tandis qu'un excès d'eau le rend trop fluide et diminue sa résistance mécanique. L'ouvrabilité est généralement évaluée à l'aide d'un **essai** d'étalement, qui permet de qualifier la consistance du mortier selon des catégories telles que ferme, souple ou fluide. [1]

Temps de prise :

Le temps de prise désigne la période durant laquelle le mortier conserve sa plasticité et sa maniabilité avant de commencer à durcir. Il est influencé par le type de liant (ciment, chaux), les adjuvants utilisés (accélérateurs ou retardateurs) ainsi que par les conditions environnementales telles que la température et l'humidité.

Maniabilité :

La maniabilité regroupe la facilité avec laquelle le mortier frais peut être mélangé, transporté, posé et étalé. Elle est liée à la plasticité du mortier, à sa cohésion et à son homogénéité. Les adjuvants plastifiants peuvent améliorer la maniabilité en rendant le mortier plus souple et moins collant, facilitant ainsi la mise en œuvre. Une bonne maniabilité assure un travail rapide, propre et un bon collage des matériaux.

Adhérence au support :

L'adhérence est la capacité du mortier frais à bien coller aux surfaces des éléments de maçonnerie (briques, pierres, parpaings). Elle est essentielle pour assurer la cohésion de l'ouvrage et la durabilité des joints. L'adhérence dépend de la composition du mortier, notamment la présence de chaux qui améliore le pouvoir collant, et des adjuvants comme les

résines vinyliques ou acryliques qui renforcent la liaison. Une bonne adhérence permet aussi de résister aux contraintes mécaniques et aux variations dimensionnelles sans fissuration.

I.10. Propriétés du mortier durci

Résistance à la compression :

La résistance à la compression du mortier est une mesure de sa capacité à supporter des charges sans se briser. Elle est déterminée selon la norme **NF EN 196-1**, qui décrit la méthode d'essai sur des éprouvettes prismatiques de dimensions standard. [11]

Résistance du mortier durci à la traction et flexion

- A la traction :

La résistance à la traction d'un mortier durci représente sa capacité à supporter des forces qui tendent à l'étirer. Cette propriété est essentielle pour prévenir l'apparition de fissures dans les structures soumises à des contraintes mécaniques, thermiques ou de retrait.

- A la flexion :

Lorsqu'un mortier durci est soumis à une contrainte de flexion, il réagit de manière asymétrique : la partie inférieure de la section fléchie est sollicitée en traction, tandis que la partie supérieure est en compression. La résistance à la flexion dépend donc directement de la capacité du mortier à supporter ces deux types de contraintes simultanément.

Durabilité du mortier durci

La durabilité est l'une des propriétés essentielles du mortier durci, car elle conditionne sa capacité à résister dans le temps aux agressions extérieures. Elle dépend principalement de plusieurs facteurs :

- **La perméabilité** : La perméabilité du mortier durci correspond à sa capacité à laisser passer les liquides sous des conditions spécifiques de pression et de viscosité. Cette perméabilité diminue lorsque la compacité du mortier augmente, ce qui nécessite un dosage adéquat en liant afin d'enrober entièrement les grains internes.[2]
- **La résistance au gel/dégel** : Dans les régions soumises à des variations climatiques, l'eau qui pénètre dans le mortier peut geler, augmenter de volume et provoquer des fissures. Un mortier durable doit donc résister aux cycles répétés de gel et de dégel sans se détériorer.
- **La résistance aux agents chimiques** : Le mortier peut être exposé à divers produits chimiques (sulfates, acides, sels de déverglaçage, etc.). Sa formulation doit donc

permettre une bonne résistance chimique afin d'éviter les réactions qui pourraient l'endommager ou altérer ses performances mécaniques.

Retrait et fissuration

Le retrait désigne la diminution de volume que subit le mortier au cours de son durcissement et de son séchage. Ce phénomène est principalement dû à la perte d'eau (évaporation) et aux réactions chimiques internes liées à l'hydratation du liant. Lorsque le retrait est trop important ou mal maîtrisé, il peut engendrer des fissures dans le mortier.

Ces fissures apparaissent généralement en surface, mais peuvent parfois s'étendre en profondeur. Elles compromettent l'intégrité du matériau en facilitant l'infiltration de l'eau, des agents chimiques ou de l'air, ce qui accélère le vieillissement du mortier. De plus, elles peuvent altérer l'aspect esthétique de l'ouvrage et, dans certains cas, réduire sa résistance mécanique. La prévention des fissures passe par une formulation équilibrée, un bon contrôle du taux d'humidité, une cure appropriée après la mise en œuvre

Pathologies courantes et prévention

-Fissuration prématurée

Causes :

Retrait plastique ou déshydratation trop rapide du mortier (évaporation rapide de l'eau).

Mauvaise formulation (rapport eau/ciment trop élevé, porosité excessive).

Mauvaise cure ou protection insuffisante après la mise en œuvre.

Conséquence :

Apparition de fissures superficielles ou profondes qui compromettent l'étanchéité et la durabilité.

Prévention :

Réduire le rapport eau/ciment pour limiter le retrait.

Utiliser des adjuvants plastifiants ou des ciments à retrait compensé.

Éviter les conditions climatiques défavorables lors de la pose (vent fort, chaleur intense).

-Décollement ou mauvaise adhérence

Causes :

Supports mal préparés (sales, poussiéreux, non humidifiés).

Application sur supports incompatibles (ex. mortier ciment sur plâtre sans traitement préalable).

Mauvaise formulation ou mauvaise application (épaisseur inadaptée, temps de prise non respecté).

Conséquence :

Perte d'adhérence du mortier, éclatement ou chute des revêtements.

Prévention :

Nettoyer et humidifier correctement les supports avant application.

Respecter les temps de prise et les épaisseurs recommandées.

-Efflorescences**Causes :**

Mauvaise formulation ou excès d'eau .

Conditions climatiques favorables à l'évaporation rapide.

Conséquences :

Apparition de dépôts blancs ou grisâtres en surface, inesthétiques et parfois fragilisant le mortier.

Prévention :

Utiliser un dosage correct en eau.

Assurer une bonne cure et protection contre l'humidité excessive ou la pluie.

Éviter les remontées capillaires en traitant les supports.

I .11.Mortier avec fibres :

Les mortiers avec fibres, aussi appelés mortiers fibrés, sont des formulations modifiées dans lesquelles des fibres courtes sont incorporées au mélange afin d'améliorer certaines propriétés mécaniques et de durabilité. Ces fibres jouent un rôle important dans la limitation de la fissuration, notamment celles dues au retrait plastique et au retrait de séchage. Elles permettent également d'accroître la résistance à la traction et la ductilité du matériau. En fonction de la nature des fibres utilisées, on peut aussi améliorer d'autres caractéristiques spécifiques, comme la résistance aux chocs, au gel/dégel, ou encore à la propagation des fissures.

I .11.1.Types de fibres :

Selon leur nature et les performances recherchées, différents types de fibres peuvent être incorporés dans les mortiers. On distingue principalement quatre grandes familles : les fibres synthétiques, les fibres minérales, les fibres végétales et les fibres artificielles. Chacune présente des propriétés spécifiques qui influencent le comportement du mortier en termes de résistance, de durabilité, de maniabilité ou encore d'impact environnemental.

I.11.1.1. Les fibres synthétiques : Apparues au XXe siècle, les fibres synthétiques regroupent des matériaux comme le nylon, le polypropylène ou le polyester. Ces fibres sont fabriquées à partir de polymères dérivés du pétrole et possèdent une structure proche de celle des plastiques ou de la cellulose modifiée. Tel que les **Fibres de polypropylènes**. [12]

I.11.1.2. Les fibres minérales : Issues de ressources minérales comme l'amiante, l'aluminium ou le fer, ces fibres sont utilisées depuis longtemps dans divers secteurs, notamment la construction, l'industrie civile et militaire. Elles servent à produire des matériaux isolants, des textiles résistants au feu, ainsi que des pièces techniques ; comme les **fibres métalliques**. [12]

I.11.1.3. Les fibres artificielles : Ce type de fibres est largement utilisé dans l'industrie, et plus particulièrement dans le domaine du génie civil. Il comprend notamment **les fibres de verre, de carbone et d'acier**. Très répandues dans le secteur de la construction, ces fibres sont couramment employées pour le renforcement des mortiers et des bétons. [12]

I.11.1.4. Les Fibres végétales : Les fibres végétales, utilisées depuis plus de 3000 ans dans les matériaux composites, sont issues de plantes comme le chanvre, le lin, le jute ou la paille. Appréciables pour leur faible coût, leur légèreté, leur disponibilité et leur impact environnemental réduit, elles suscitent aujourd'hui un intérêt croissant, notamment dans le domaine du bâtiment. Malgré certaines limites comme leur sensibilité à l'humidité, elles offrent une alternative prometteuse aux fibres classiques dans le renforcement des mortiers et bétons. [12] ; **On distingue :**

- **Fibres de sisal :** Le sisal est une plante tropicale aux longues feuilles triangulaires, originaire du Mexique. Sa fibre, d'environ 3 mm de longueur, est très résistante et utilisée pour fabriquer cordages, tissus grossiers et tapis. La production mondiale est estimée à 300 000 tonnes, principalement au Brésil, en Tanzanie et au Kenya. [2]



Figure I.12:Plante et fibre de sisal

- **Fibres de chanvre :** Le chanvre est une plante qui pousse chaque année, mesurant entre 1 et 3 mètres. On la cultive surtout dans des pays au climat tempéré, comme la France ou l'Italie. Ses fibres ont longtemps été utilisées pour faire du tissu, du papier, des toiles et des cordes [12].



Figure I.13:Plante et fibres de chanvre.

- **Fibres de lin :** Le lin est une plante annuelle de taille moyenne, appartenant à la famille des linacées. Très répandue mondialement, sa culture est particulièrement importante en Inde et en Amérique du Nord. Les graines de lin sont exploitées pour produire divers produits comme des huiles, des cosmétiques ou des médicaments. [12]



Figure I.14 : Plante et fibre de lin

- **Fibres de jute :** Le jute est une plante venant d'Asie du Sud-Est. Ses fibres solides, d'environ 2 mm de long, sont utilisées pour faire des sacs solides et des semelles de chaussures. [12]



Figure I.15 :Plante et fibres de jute

- **Fibres de carton :** Les fibres de carton sont principalement constituées de fibres de cellulose issues du bois, provenant pour moitié d'arbres, notamment les résineux qui offrent des fibres longues et résistantes, et pour moitié de matières recyclées comme le papier et le carton usagés. Ces fibres sont assemblées en un matériau multicouche grâce à des liaisons hydrogène naturelles, sans ajout de liant, puis pressées et séchées. Leur structure enchevêtrée et partiellement orientée leur confère à la fois solidité et flexibilité. La qualité des fibres dépend de leur morphologie, notamment leurs dimensions, leur souplesse et leur capacité à se lier entre elles, ce qui peut être évalué par des outils d'analyse d'image spécialisés

I.11.2.Domaine d'applications :

Les fibres de toute nature sont très employées dans différents ouvrages dans le but d'augmenter leurs performances mécaniques et physiques. Actuellement les fibres végétales sont de plus en plus utilisées dans les dalles et la production des tuiles et les dallages de parking ainsi que dans le renforcement du plâtre .L'utilisation des fibres végétales dans le renforcement des ciments est relativement récente. En effet, beaucoup de recherches sont en cours dans le but d'arriver à substituer les fibres d'amiante par les fibres végétales.

L'usage des fibres végétales remonte à des époques très anciennes. Elles ont d'abord été utilisées dans le domaine du textile et pour la fabrication de cordages, avant d'être exploitées dans la production de papier, puis progressivement intégrées dans la fabrication de matériaux de construction composites. [13]

I.11.3. Avantages et inconvénients

- **Avantages :**

- Certaines fibres végétales comme le chanvre et le lin, qui sont très résistants et qui peuvent être utilisées pour la construction de structures solides

- Elles peuvent être moins coûteuses que les matériaux de construction traditionnels .

- Elles offrent une bonne isolation thermique ce qui améliore le confort dans les bâtiments .

Les fibres végétales sont renouvelables , contribuant ainsi à la réduction des émissions de gaz

- **Inconvénients :**

- Elles peuvent avoir des limites de températures de traitement ,c'est ce qui peut limiter leurs utilisations dans certains contextes.

- Certains fibres peuvent être sensibles à l'humidité, elles nécessitent un traitement pour éviter la moisissure ou la dégradation .

I.12. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté un aperçu des matériaux essentiels dans la construction moderne, en explorant les mortiers et ses composants. Les mortiers, en tant qu'éléments fondamentaux de la maçonnerie, ont été détaillés sous différents aspects, mettant en avant leurs compositions, applications et propriétés spécifiques. De l'autre côté, les matériaux qui peuvent être associés au mortier, grâce à leurs caractéristiques de légèreté et de résistance, sont devenus incontournables dans de nombreux secteurs.

Chapitre II

FORMULATION ET CONFECTION D'UN MORTIER DE CIMENT

II.1. Introduction

Ce chapitre présente les matériaux utilisés pour préparer les mélanges, ainsi que les méthodes expérimentales employées pour analyser leurs propriétés physiques et mécaniques.

II.2. Présentation des matériaux étudiés

II.2.1.Sable :

Pour les besoins des essais, nous avons utilisé un sable naturel de classe granulaire 0/3, provenant de la région de Tizi-Ouzou. Pour garantir des propriétés mécaniques optimales et une bonne maniabilité, le sable doit présenter une distribution granulométrique équilibrée comprenant : des grains fins pour améliorer la compacité ;des grains moyens pour favoriser la cohésion du mélange et des grains grossiers qui contribuent à la résistance mécanique .



Figure II.1 : Le sable utilisé

II.2.2. Le ciment :

Le liant utilisé est un ciment Portland (CEM II/ 42.5) d'une résistance caractéristique de 42.5 MPa à 28 jours, fourni par le groupe LAFARGE.



Figure II.2 :Type de ciment

II.2.2.1. Composition chimique :

- Clinker Portland : environ 80 à 94 %
- Calcaire : 6 à 20 %
- Teneur en chlorures (Cl^-) : $\leq 0,10$ %
- Teneur en sulfates (SO_3) : $\leq 4,5$ %
- Teneur en sulfures (S^{2-}) : $< 0,2$ %

II.2.2.2. Propriétés physiques et mécaniques :

Résistance à la compression sur mortier normalisé :

- 2 jours : environ 18 à 25 MPa
- 28 jours : environ 40 à 48 MPa
- Début de prise à 20 C° : ≥ 50 minutes
- Bonne maniabilité et compatibilité avec les additifs chimiques.

II.2.3. L'eau :

Pour notre étude, nous utilisons de l'eau potable du robinet fournie par le laboratoire de génie civil. Le rapport entre la quantité d'eau et de ciment (E/C) est de 0,5. On considère

que la moitié de cette eau sert à hydrater le ciment, et l'autre moitié permet d'humidifier les espaces entre les grains, ce qui rend le mortier suffisamment plastique pour être travaillé.

II.2.4. Fibre de Carton :

Le recyclage du papier et du carton joue un rôle essentiel dans la protection de l'environnement. Il permet de réutiliser les déchets pour fabriquer de nouveaux produits, ce qui réduit la consommation de ressources naturelles et limite la déforestation. Ce processus s'inscrit pleinement dans une démarche écologique, en reposant sur une gestion efficace et durable des déchets : collecte, tri et traitement sont réalisés de manière à minimiser l'impact environnemental.

II.2.4.1. Quels papiers et cartons se recyclent ?

Les papiers et cartons recyclables constituent une part importante des déchets ménagers et industriels parmi on peut trouver :

- Journaux et magazines : ces éléments sont parmi les plus courants et facilement recyclables.
- Feuilles de papier : utilisées au bureau, ces feuilles sont recyclables tant qu'elles ne sont pas sales.
- Cartons d'emballage : utilisés pour les colis, ils doivent être aplatis pour faciliter le transport et le tri.
- Cartons alimentaires : comme les boîtes de céréales, les boites de lait (Candia) , à condition qu'ils soient propres et secs.

Pour faciliter le recyclage de ces cartons il est recommandant de les aplatir pour faciliter le tri.

II.2.4.2. Quels papiers et carton ne se recyclent pas ?

Certains papiers et cartons contiennent des contaminants ou ont subi des traitements spécifiques qui empêchent leur recyclage et parmi on distingue :

- **Papiers carbonés** : Utilisés pour les duplications manuelles, ces papiers contiennent des substances chimiques qui ne peuvent pas être séparées par les processus de recyclage classiques.

- **Enveloppes kraft** : Bien que robustes, ces enveloppes sont souvent traitées avec des colles et des fibres qui compliquent leur recyclage.

II.2.4.3. Comment s'effectue un recyclage des boîtes de lait ?

Le recyclage du papier et du carton, y compris les emballages comme les boîtes de lait, commence par le tri et le nettoyage des matériaux. Ensuite, ils sont découpés en petits morceaux pour pouvoir être réutilisés. La matière obtenue est ensuite étalée et séchée pour former de nouvelles feuilles de carton ou de papier. Ces feuilles sont ensuite enroulées ou découpées selon les besoins pour être utilisées dans la fabrication de nouveaux produits.

II.2.4.4. Les avantages et inconvénients du recyclage de papier et de carton

- **Avantages :**
 - Réduction des déchets : Moins de déchets envoyés à la décharge.
 - Moins de pollution : Le recyclage produit généralement moins de pollution que la fabrication à partir de matières premières.
 - Sensibilisation écologique : Encourage les comportements responsables pour l'environnement.
- **Inconvénients :**
 - Dégradation des fibres : Après plusieurs cycles de recyclage, les fibres de papier se dégradent et perdent en qualité, nécessitant l'ajout de fibres neuves pour maintenir la qualité du produit final.
 - Contamination des matériaux : Les papiers et cartons contaminés par des substances non recyclables (colles, plastiques) compliquent le processus de recyclage et peuvent réduire la qualité du produit recyclé.

II.3. Détermination des caractéristiques des matériaux

II.3.1. Masse volumique apparente [NF P18-554]:

La masse volumique apparente d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules.

- **Mode opératoire de l'essai :**

- 1- Préparation de l'échantillon de sable.
- 2- Mesure de volume : Pour notre cas on utilise un cylindre de diamètre de 9,5cm et d'une hauteur de 14 cm.

$$\text{Ce qui donne } V_{\text{cylindre}} = \pi * r^2 * h = \pi * (9,5/2)^2 * 14 = 992,35 \text{cm}^3$$

- 3- Mesure de la masse : Prendre l'échantillon entre les deux mains, le verser progressivement au centre du récipient, de façon lente, jusqu'à ce qu'il déborde tout autour en formant un cône, araser avec une règle puis peser le contenu.



Figure. II.3 : Différents étapes de l'essai (a-b-c-d-e)

Calcul de la masse volumique apparente à partir de la formule suivante:

$$\text{Avec : } MV_{app} = \frac{M}{V_{\text{cylindre}}} \quad [\text{g/cm}^3]$$

Où :

- M: La masse du récipient avec l'échantillon (sable)
- V_{cylindre} : le volume du récipient de mesure.

II.3.2. Masse volumique absolue [NF P18-555] :

La masse volumique absolue est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides.

• **Mode opératoire :**

- Mettre dans une éprouvette graduée un volume V_1 d'eau.
- Peser une masse M_s de sable, environ 300 g , et l'introduire dans l'éprouvette.
- Bien éliminer les bulles d'air.
- Lire le nouveau volume V_2 .
- Le volume absolu est donc $V=V_2-V_1$

Et la masse volumique absolue sera calculée avec cette formule :

$$\rho_s = \frac{M_s}{V_2 - V_1} = \frac{M_s}{V} \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

Avec :

M_s : Masse de sable

V_1 : volume de l'eau

V_2 : volume total (sable+ eau)



Figure. II.4 :Essai de la masse volumique absolue

Tableau. II.1:Masses volumiques du sable utilisé.

Classe granulaire	Masse volumique apparente (g/cm ³)	Masse volumique absolue (g/cm ³)
Sable lavé (0/3)	1,629	2,66
Sable non lavé (0/3)	1,611	0,96

II.3.3. Equivalent de sable [NF P 18-598] :

L'essai d'équivalent de sable permet d'évaluer la propreté d'un sable en mesurant la proportion de fines qu'il contient. Il est effectué sur la fraction du granulat qui passe à travers

un tamis de 2 mm. Le principe repose sur la séparation des particules : les grains de sable plus lourds se déposent au fond du tube (sédimentation), tandis que les particules fines restent en suspension (floculation). La valeur de l'équivalent de sable (Es) est exprimée en pourcentage. Elle correspond au rapport, multiplié par 100, entre la hauteur de la couche de sable déposée au fond et la hauteur totale du mélange (sable + floculats).

- **But de l'essai :**

Le but de l'essai d'équivalent de sable est de vérifier si le sable est assez propre pour être utilisé dans la construction, en mesurant la quantité de fines qu'il contient.

- **Mode opératoire**

- Pesée : Peser un échantillon de sable tamisé de 120 g .
- Mise en éprouvette : Verser dans une éprouvette de l'eau jusqu'au repère 1 et verser les 120 g de sable à l'aide d'un entonnoir, tapoter fermement l'éprouvette avec la paume de la main pour éliminer les bulles d'air.
- Agitation: Fermer l'éprouvette avec un bouchon en caoutchouc, puis effectuer 90 cycles va-et-vient en 30 secondes à l'aide d'un agitateur manuel.
- Rinçage: Retirer le bouchon, le rincer au-dessus de l'éprouvette, et la compléter par de l'eau jusqu'au repère 2.
- Laisser reposer l'ensemble pendant 20 minutes sans y toucher.
- Mesurer à vue les hauteurs h_1 et h_2 . Procéder à la mesure à l'aide d'une règle la hauteur h_1 du niveau supérieur du floculat et h_2 à l'aide d'un piston descendu jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment.



Figure. II.5 : Essai d'équivalent de sable



Figure. II.6 : Mesures des hauteurs (h_1 , h_2)

L'équivalent de sable est exprimé en pourcentage, par la formule suivante :

$$ES = \frac{h_2}{h_1} * 100$$

Avec : h_2 : la hauteur de sable propre sédimenté

h_1 : la hauteur totale (sable floculé)

❖ **Résultats obtenus par le sable lavé et non lavé**

• **Sable lavé :**

Tableau. II.2 : Valeurs d'essai d'équivalent de sable et le résultat obtenu pour le sable lavé

Eprouvette	h_1 (cm)	h_2 (cm)	ES(%)
N°1	8,9	8,95	100
N°2	9,35	8,5	90
N°3	9,3	7,8	87

• **Sable non lavé :**

Tableau. II.3: Valeurs d'essai d'équivalent de sable et le résultat obtenu pour le sable non lavé

Eprouvette	h_1 (cm)	h_2 (cm)	ES(%)
N°1	9,7	7,5	77
N°2	9,5	7,4	77
N°3	9,3	7,2	77

Tableau. II.4 : Valeurs de l'équivalent de sable

ES à vue	ES au piston	Nature et qualité du sable
ES <65	ES <60	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité.
$65 \leq ES < 75$	$60 \leq ES < 70$	Sable légèrement argileux de propreté admissible pour béton de qualité courante et on ne craint pas particulièrement le retrait.
$75 \leq ES < 85$	$70 \leq ES < 80$	Sable propre à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
ES ≥ 85	ES ≥ 80	Sable très propre : l'absence presque totale de fines argileuses, risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

D'après les résultats obtenus et le tableau dernier qu'on fait référence: le premier sable lavé est un sable très propre; ce qui explique l'absence presque totale de fines argileuses qui risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage d'eau.

Pour le 2^{ème} sable qui est non lavé et c'est celui qu'on a utilisé dans notre expérience, le pourcentage est de 77 % ce qui montre que le sable est propre à faible pourcentage de fines argileuses et qui est convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.

II.3.4. Analyse granulométrique par tamisage [NF P18-560] :

Cet essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis emboîtés les uns sur les autres. Les dimensions des ouvertures décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et le classement des grains s'obtient par vibration de la colonne de tamis. De plus, les courbes granulométriques des différents granulats peuvent être déterminées par les résultats de l'essai de l'analyse granulométrique.

- **Matériel utilisé :**

- Une série de tamis normalisés, avec des mailles de dimensions (en mm) : 5-2,5-1,25-0,63-0,315-0,16-0,08 et le fond en dernier.
- Un appareil de tamisage mécanique avec vibration.
- Une balance précise pour peser les fractions retenues.
- Un récipient pour recueillir les tamisas (particules passant à travers les tamis).

- **Mode opératoire :**

- Préparation de l'échantillon tel qu'une quantité de 2000g de sable sec.
- Placer les tamis emboîtés les uns dans les autres, du plus gros maillage en haut au plus fin en bas.
- Verser l'échantillon sur le tamis supérieur.
- Soumettre la colonne de tamis à une vibration mécanique pendant un temps défini.
- Retirer chaque tamis et peser la masse des grains retenus (refus) sur chaque tamis.



Figure. II.7 : Appareil de tamisage

Tableau. II.5 : Résultats d'analyse granulométrique du sable lavé

Tamis (mm)	Refus(g)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisats cumulés(%)
5	0	0	0	0
2,5	83 ,3	83,3	4,165	95,835
1,25	337 ,3	420,6	21,03	78,97
0,63	424	844,6	42,23	57,77
0,315	441,9	1286,5	64,325	35,67
0,16	454,4	1740,9	87,045	12,95
0,08	189,2	1930,1	96,505	3,49
Fond	65,8	1995,9	99,79	0.20

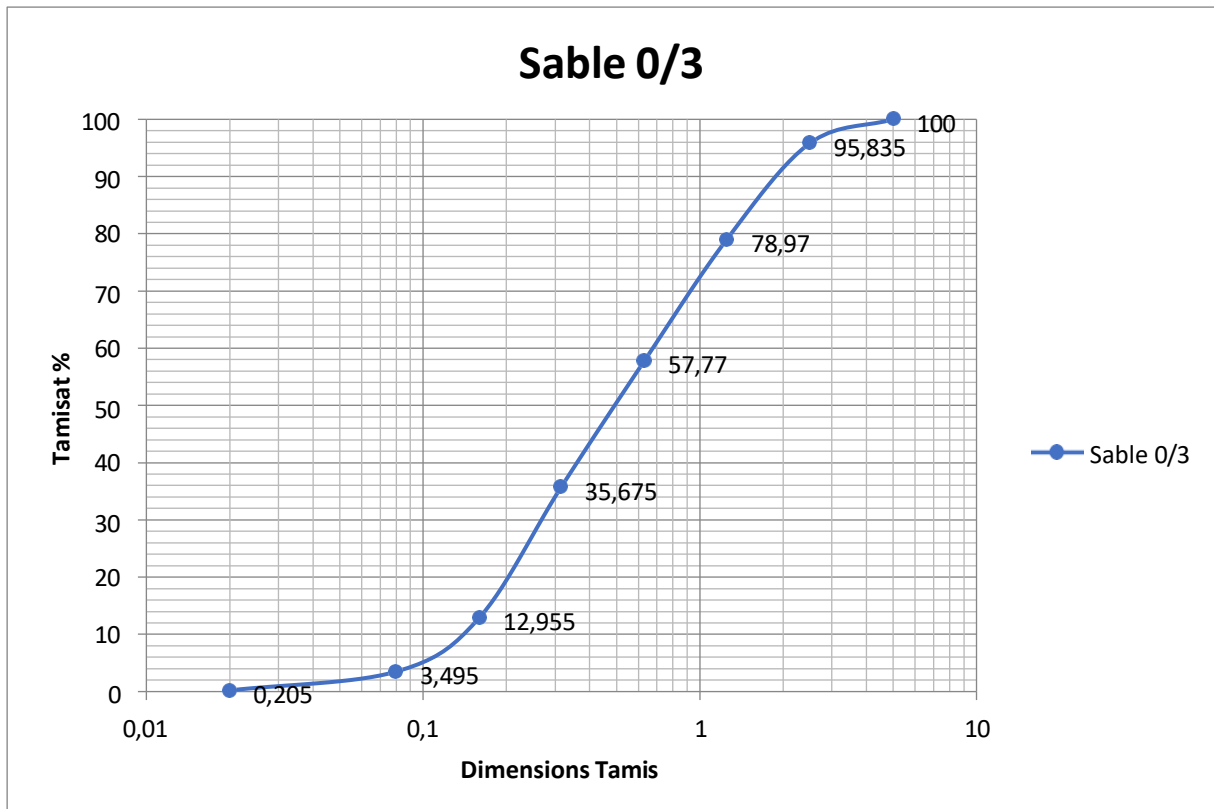


Figure. II.8 : Courbe granulométrique du sable lavé

Tableau. II.6 : Résultats d'analyse granulométrique du sable non lavé

Tamis (mm)	Refus(g)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisats cumulés(%)
5	11,6	11,6	0,58	99,42
2,5	152,6	164,2	8,21	91,79
1,25	245	409,2	20,46	79,54
0,63	348,2	757,4	37,87	62,13
0,315	591,9	1349,3	67,47	32,53
0,16	405,8	1755,1	87,76	12,24
0,08	144,3	1899,4	94,97	5,03
Fond	89,4	1988,8	99,44	0,56

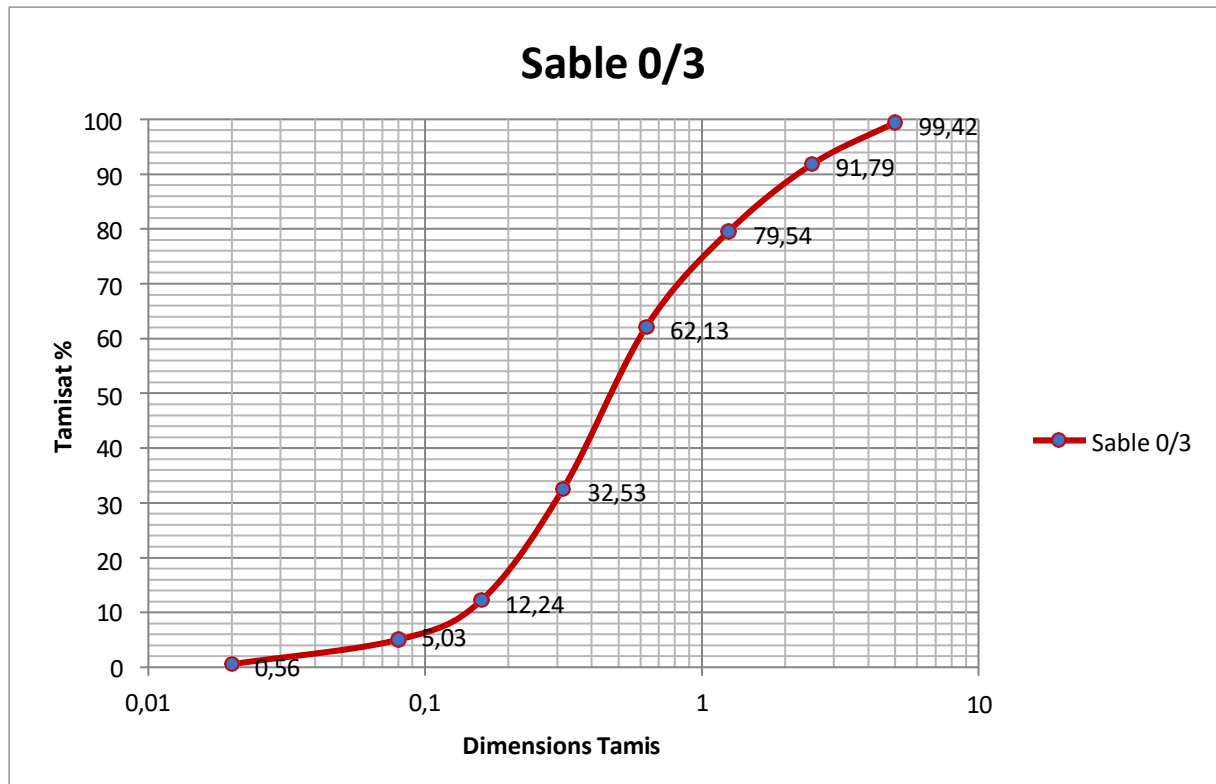


Figure. II.9 : Courbe granulométrique du sable non lavé

II.3.5. Module de finesse [NF P18-560] :

Les sables doivent être présentés après la granulométrie pour que les éléments fins ne soient ni en excès, ni en trop faible proportion.

Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être quantifié par le calcul du module de finesse (MF). Le module de finesse est d'autant plus petit que le granulat est riche en éléments fins. Le module de finesse est égal au 1/100 e de la somme des refus cumulés exprimée en pour centrages sur les tamis de la série suivante : 0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5mm.

Lorsque MF est comprise entre :

$2,8 < MF < 2,3$: Sable grossier

$2,2 < MF < 2,8$: Sable moyen

$1,8, MF < 2,2$: Sable fin

- **Pour notre expérience :**

- **Sable lavé :** $MF = \frac{\sum(87,045 + 64,325 + 42,23 + 21,03 + 4,165 + 0)}{100} = 2,18$

- **Sable non lavé :** $MF = \frac{\sum(87,76 + 67,47 + 37,87 + 20,46 + 8,21 + 0,58)}{100} = 2,22$

Pour les deux sables on constate que c'est **un sable moyen**.

II.4. Fibre de carton :

Dans notre protocole expérimental, nous utilisons des fibres issues de cartons alimentaires, plus précisément des boîtes de lait. Le principe consiste à récupérer ce matériau en le nettoyant soigneusement à l'eau pour garantir sa propreté intérieure. Une fois la boîte propre et bien sèche, elle est découpée en petits morceaux afin d'obtenir des fibres de différentes longueurs. Ces fibres, d'origine recyclée, sont ensuite incorporées dans le mortier dans le but de fabriquer un mortier à base de fibres, plus résistant et plus durable.

Pour les besoins de cette recherche sur la possibilité d'intégrer ce type de déchet dans la valorisation des déchets, nous avons utilisé plusieurs fractions de fibres dans la composition du mortier de ciment à savoir de 0,25 % à 1,5 % avec un pas 0,25 % de poids par rapport au liant. Deux longueurs de fibres sont utilisées : 7 cm et 10 cm, ce qui permet d'analyser l'effet de la dimension des fibres sur les propriétés du mortier.

- **Objectif de ces fibres :**

L'objectif de cette expérience est d'analyser l'effet de l'ajout de fibres recyclées issues de cartons alimentaires sur les propriétés du mortier. En incorporant différentes quantités de fibres avec deux longueurs (7 cm et 10 cm), on cherche à observer l'effet de ces ajouts sur le comportement du mortier, notamment en termes de résistance mécanique. Cette étude permet aussi de valoriser un déchet de carton dans une optique écologique et économique, en explorant une solution de renforcement naturel et accessible du mortier.



Figure. II.10 : Découpage de la boîte de lait

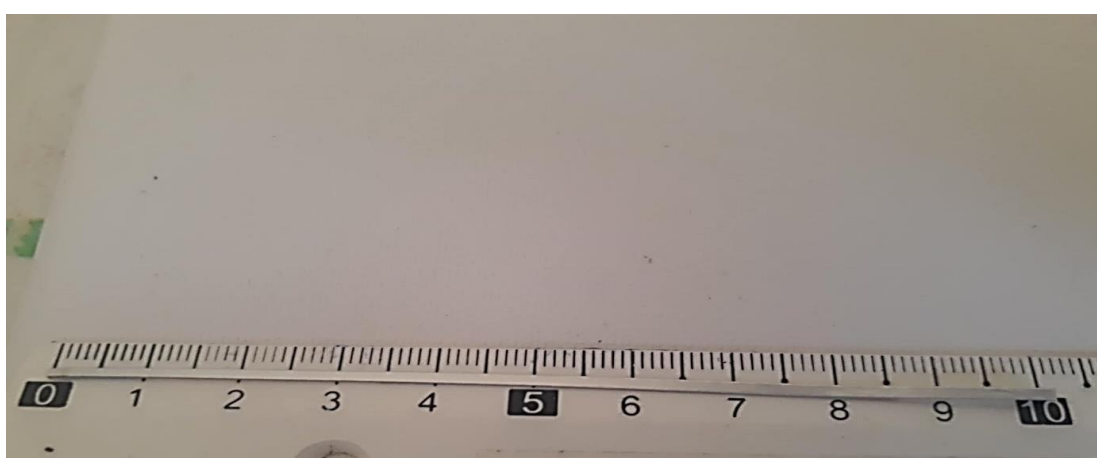
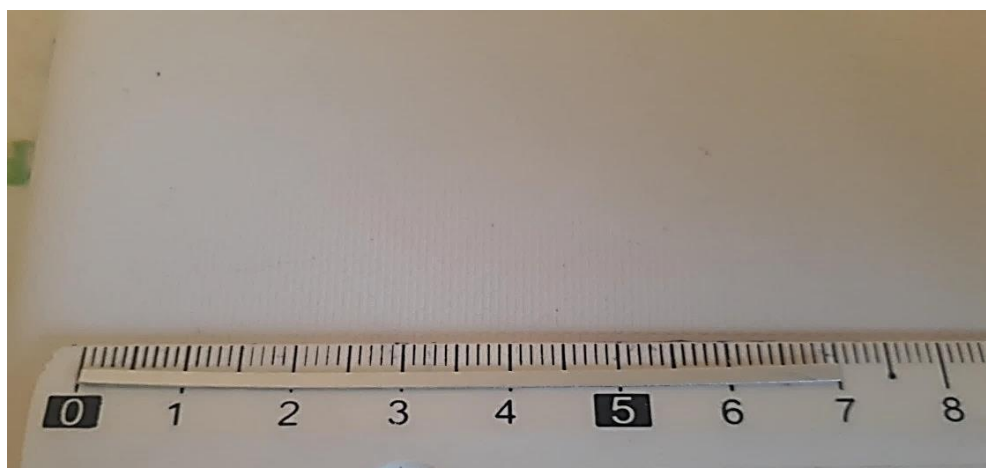


Figure. II.11 : Fibres obtenues après le découpage de longueur 7cm et 10 cm

II.4. Équipements utilisés



Figure. II.14 : Appareillage de laboratoire

II.5. Elaboration des éprouvettes :

Les éprouvettes de mortier utilisées sont de forme prismatique ($4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$). Elles sont élaborées de la même façon afin d'assurer une reproductibilité dans les manipulations. La composition du mortier témoin est donnée dans le tableau II.7 et la composition du mortier fibré dans le tableau II.8

Tableau. II.7 : Dosage des constituants du mortier témoin pour 1 m^3

Mortier	Volume d'éprouvette (cm^3)	Sable (g)	Ciment (g)	Eau (g)
Témoin	256	1350	450	225

Tableau. II.8 : Dosage des composants du mortier renforcé selon différents taux d'incorporation de fibres de carton

Série de Gâchage	Éprouvette	Taux de fibres (%)	Masse de sable (g)	Masse de ciment (g)	Masse d'eau (g)
Gâchage 1	Éprouvette 1	0.25%	1240	413.64	248.12
	Éprouvette 2				
	Éprouvette 3				
Gâchage 2	Éprouvette 1	0.5%	1237.82	412.64	247.59
	Éprouvette 2				
	Éprouvette 3				
Gâchage 3	Éprouvette 1	0.75%	1234.82	410.61	246.96
	Éprouvette 2				
	Éprouvette 3				
Gâchage 4	Éprouvette 1	1%	1231.72	410.57	246.36
	Éprouvette 2				
	Éprouvette 3				
Gâchage 5	Éprouvette 1	1.25%	1228.61	409.5	245.76
	Éprouvette 2				
	Éprouvette 3				
Gâchage 6	Éprouvette 1	1.5%	1225.5	408.5	245.1
	Éprouvette 2				
	Éprouvette 3				

Tableau II.9 : Masse des fibres utilisées

Les fibres	0.25%	0.5%	0.75%	1%	1.25%	1.5%
Carton(g)	1.26	2.53	3.80	5.06	6.33	7.60

➤ **Préparation du matériau :**

Les mortiers ont été préparés conformément à la norme (EN 196-1). Le mélange a été effectué à l'aide d'un malaxeur à axe vertical, en respectant rigoureusement le protocole établi. Les opérations de gâchage et de malaxage requièrent une attention particulière. Il est essentiel d'obtenir un enrobage satisfaisant des constituants, d'assurer une répartition homogène des fibres et de prévenir toute ségrégation des granulats. La durée ainsi que la vitesse de malaxage jouent un rôle déterminant dans l'uniformité du mélange.

La procédure suivie est la suivante :

- Introduire l'eau en premier dans la cuve du malaxeur pour humidification, y verser ensuite le sable et le ciment, aussitôt après, mettre le malaxeur en marche à vitesse lente pendant 30 secondes.
- Mettre alors le malaxeur à sa vitesse rapide et continuer le malaxage pendant 1 min 30s.
- Le malaxeur est ensuite arrêté afin de racler soigneusement les parois et le fond du récipient à l'aide d'une raclette, afin de garantir que l'ensemble du matériau soit bien intégré.
- Après avoir remonté le batteur, le malaxage reprend à grande vitesse pendant deux minutes supplémentaires.

C'est à cette étape finale que les fibres sont incorporées, ce qui favorise leur bonne dispersion au sein du mélange et assure une homogénéisation optimale. Une fois le malaxage terminé, le mortier est versé dans des moules en trois couches de même épaisseur. Chaque couche est compactée à l'aide d'une table vibrante, activée pendant 20 secondes, afin d'éliminer l'air emprisonné et d'améliorer la densité du matériau.



Figure. II.15 : Elaboration des mortiers.



Figure. II.16 : Introduction des fibres dans le mélange



Figure. II.17 : Coffrage des spécimens dans les moules



Figure. II.18 : Conservation des éprouvettes pendant 28 jours dans l'eau.

II.6. Appareils de mesure du comportement mécanique

La machine **IBERTEST** est un équipement de laboratoire conçu pour réaliser différents essais mécaniques sur matériaux, notamment les essais de traction, de compression et de flexion, L'essai de traction par flexion trois points a été réalisé à l'aide de cette machine, dont le fonctionnement est assisté par ordinateur afin d'assurer un contrôle précis du chargement. L'éprouvette a été mise en place conformément aux conditions expérimentales définies pour ce type d'essai .



Figure. II.19 :Essai de traction par flexion



Figure. II.20 : Essai de compression

II.7. Conclusion

Ce deuxième chapitre a été consacré à la présentation de la démarche expérimentale adoptée pour l'étude des différents essais réalisés. Il a permis de détailler les matériaux utilisés, les méthodes de préparation ainsi que les protocoles suivis pour chaque type d'essai. Les résultats obtenus dans cette phase expérimentale constituent une base solide pour l'analyse et la compréhension du comportement des matériaux testés.

Chapitre III

INTERPRETATION DES RESULTATS

III.1. Introduction

Ce chapitre présente l'analyse du comportement mécanique de mortiers renforcés par fibres, à travers des essais de flexion et de compression. Deux paramètres principaux ont été étudiés : le pourcentage de fibres incorporées et leur longueur. Un mortier témoin, formulé sans fibres, est utilisé comme référence afin d'évaluer l'impact du renforcement. Les essais de flexion trois points ont été effectués sur des prismes ($4 \times 4 \times 16$) cm³ pour analyser l'influence de ces paramètres sur la résistance à la traction par flexion, illustrée par des courbes force-déplacement. En parallèle, des essais de compression ont été menés sur des cubes ($4 \times 4 \times 4$) cm³, et les résultats sont présentés sous forme d'histogrammes, afin de mettre en évidence les effets du taux et de la longueur des fibres sur la résistance à la compression. L'ensemble permet de caractériser comparativement les performances mécaniques des différentes formulations.

III.2. Essai de flexion trois point :

L'essai de flexion trois points est une méthode expérimentale utilisée pour évaluer le comportement mécanique en flexion d'un matériau, comme un mortier ou un béton fibré. L'essai de flexion trois points réalisé avec la machine IBERTEST consiste à soumettre une éprouvette posée sur deux appuis parallèles à une charge appliquée au centre, provoquant une flexion localisée. Cette machine électromécanique universelle, pilotée par ordinateur, permet de mesurer précisément la force appliquée et le déplacement de l'échantillon, offrant ainsi des données fiables sur la résistance à la flexion, la ductilité et le comportement post-fissuration du matériau. Grâce à son capteur de force et à son logiciel dédié, la machine IBERTEST assure un contrôle rigoureux des conditions d'essai (vitesse de chargement, positionnement, etc.) conformément aux normes en vigueur, garantissant la reproductibilité et la précision des résultats.

Cet essai met en évidence la capacité des fibres à améliorer la résistance post-fissuration en retardant la propagation des fissures et en redistribuant les contraintes, transformant un comportement fragile en un comportement plus ductile.

Le tableau ci-dessous illustre les résultats des essais de flexion sur les différents spécimens réalisés suivis par des figures traduisant l'effet de la longueur et du pourcentage des fibres de carton dans le comportement mécanique du mortier de ciment

Tableau III.1: Résistance en flexion des mortiers étudiés.

Mortier \ %	Resistance en flexion(MPa)					
	0.25%	0.5%	0.75%	1%	1.25%	1.5%
MF7	6.3	6.28	6.2	6.322	7.427	7.336
MF10	5.891	5.865	5.951	6.003	6.102	6.352

III.2.1. Influence du pourcentage de fibres sur le comportement du mortier en flexion :

Dans cette section, l'influence du pourcentage des fibres de Carton présent dans les différents mortiers est présenté et analysé sous forme de courbes force-déplacement :

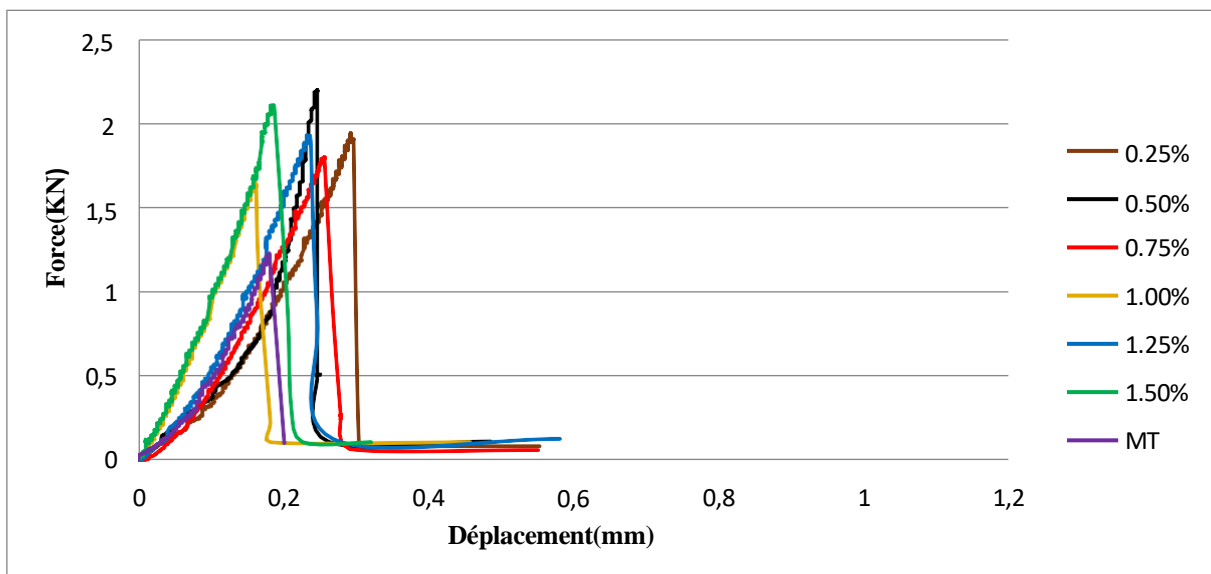


Figure III.1: Courbe force-déplacement en flexion des mortiers (MF7)

La courbe force-déplacement des mortiers MF7 (fibres de 7 cm) montre que plus le pourcentage de fibres augmente, plus le comportement en flexion s'améliore. Le mortier témoin, sans fibres, se rompt brutalement sans résistance résiduelle. Aux faibles dosages (0,25 % à 0,75 %), une légère amélioration apparaît, avec un début de résistance après fissuration. Aux dosages intermédiaires (1,00 % et 1,25 %), la courbe devient plus progressive après le pic, signe d'un meilleur contrôle des fissures. Le meilleur résultat est obtenu à 1,50 %, avec une résistance

élevée et une phase post-pic, indiquant une bonne capacité à absorber l'énergie grâce à un pontage efficace des fibres.

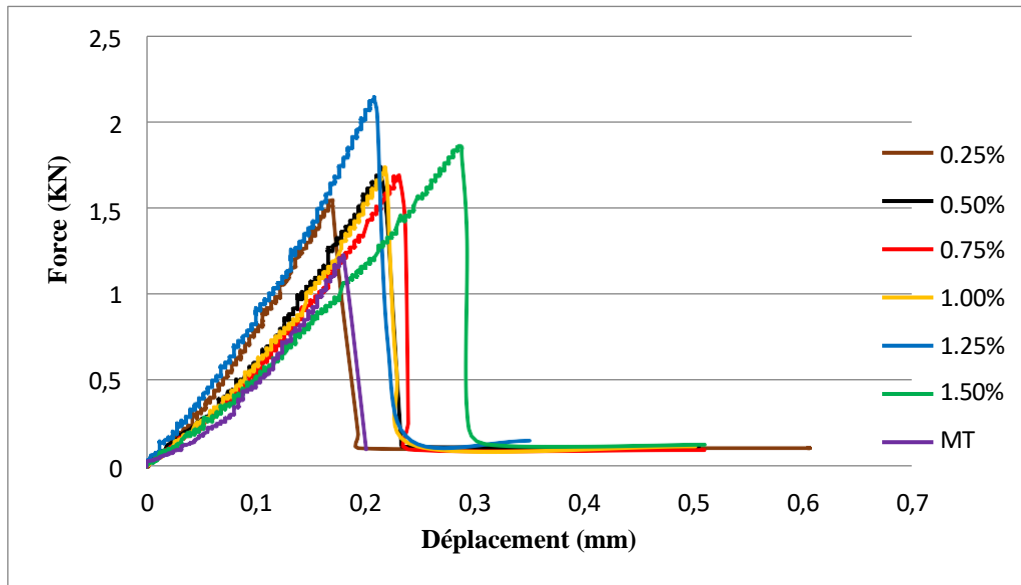


Figure III.2: Courbe force-déplacement en flexion des mortiers (MF10).

La courbe des mortiers MF10 montre que l'ajout de fibres de 10 cm améliore nettement la flexion, surtout à partir de 0,75 %. Le mortier témoin se rompt brutalement, tandis que les dosages de 1,00 % à 1,25 % offrent la meilleure performance, avec une bonne résistance post-fissuration et une absorption d'énergie efficace. À 1,50 %, l'amélioration est moins marquée, probablement à cause d'un mélange moins homogène.

III.2.2. Influence de la longueur de fibres sur le comportement du mortier en flexion :

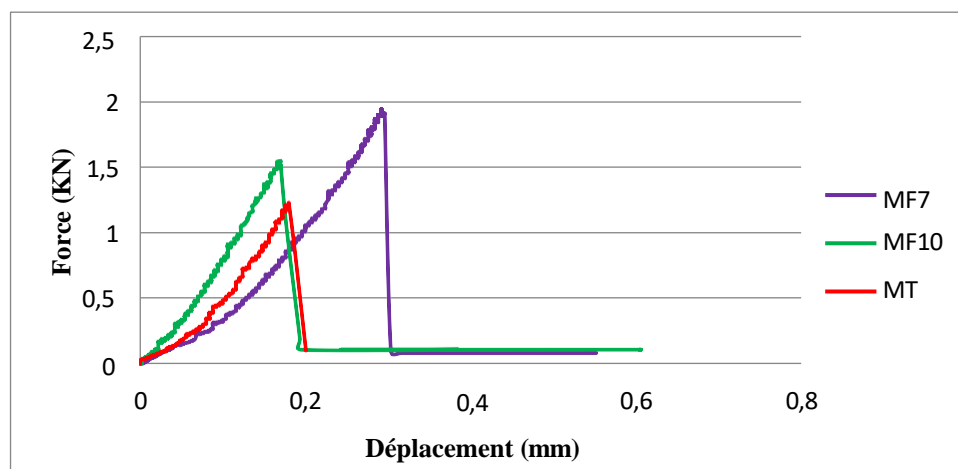


Figure III.3 : Courbe force-déplacement en flexion des mortiers à 0.25% en fibres.

La courbe force-déplacement compare trois mortiers à 0,25 % de fibres : le mortier témoin (MT), le mortier fibré de 7 cm (MF7) et celui de 10 cm (MF10). Le MT présente une rupture fragile avec une chute brutale après le pic. Le MF10 montre une légère amélioration, mais sa rupture reste abrupte. En revanche, le MF7 atteint la force maximale la plus élevée (près de 2 kN) et présente un comportement post-fissuration plus progressif. Cela traduit une meilleure ductilité. En conclusion, à faible dosage, les fibres de 7 cm sont plus efficaces pour améliorer la résistance et la ténacité du mortier.

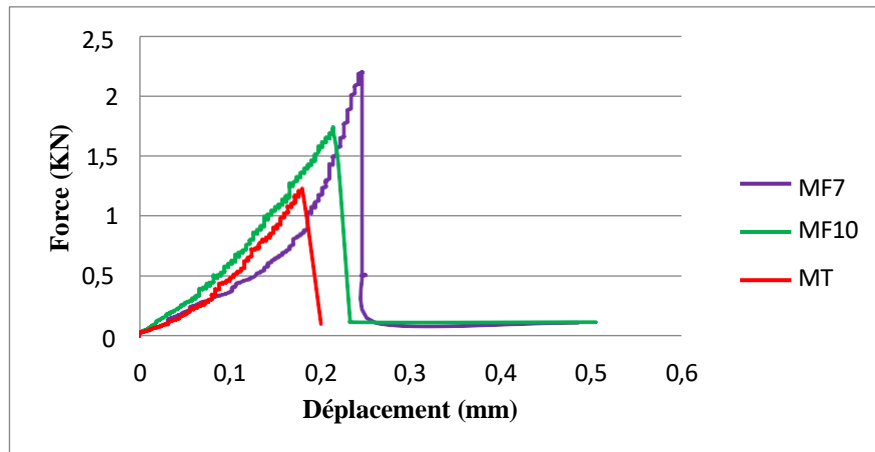


Figure III.4 : Courbe force-déplacement en flexion des mortiers à 0.5% en fibres

À 0,5 % de fibres, la longueur des fibres influence fortement le comportement des mortiers en flexion. Le mortier non fibré est fragile avec une rupture brutale et aucune résistance après fissuration. Les fibres de 7 cm améliorent légèrement la ductilité et la résistance résiduelle, mais leur ancrage reste limité. Les fibres de 10 cm offrent une meilleure ductilité et une résistance post-fissuration plus élevée grâce à un pontage efficace des fissures et une meilleure dissipation d'énergie.

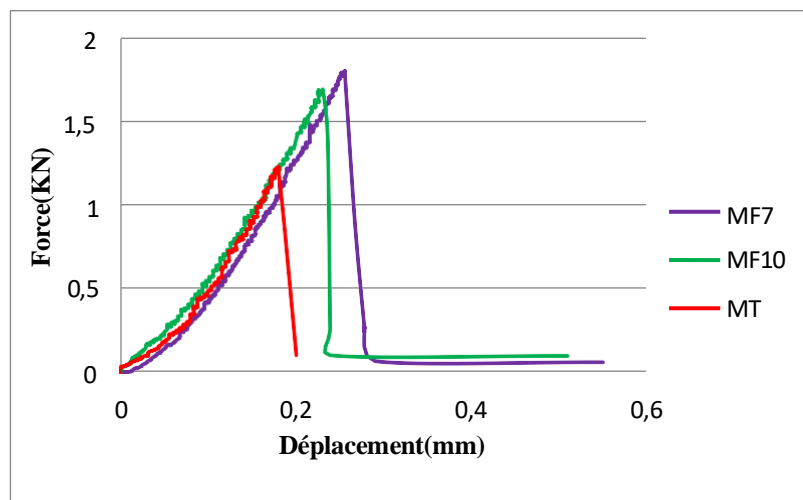


Figure III.5 : Courbe force-déplacement en flexion des mortiers à 0.75% en fibres

La courbe force-déplacement à 0,75 % de fibres montre que, contrairement au mortier témoin qui se rompt brutalement sans résistance résiduelle, les mortiers fibrés gagnent en ductilité. Le MF7 (fibres de 7 cm) présente une résistance résiduelle modérée, indiquant un début de contrôle des fissures. Le MF10 (fibres de 10 cm) se distingue par une résistance post-pic plus élevée et une meilleure capacité à retarder la rupture grâce à un ancrage plus efficace des fibres dans la matrice.

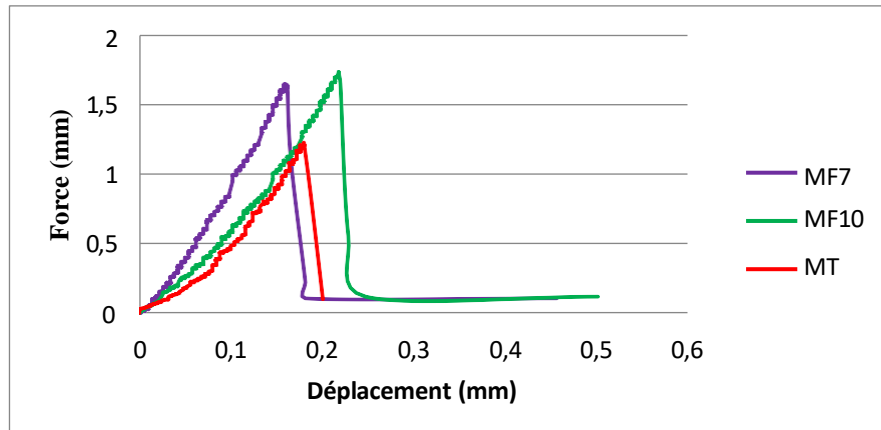


Figure III.6 : Courbe force-déplacement en flexion des mortiers à 1% en fibres

L'ajout de 1 % de fibres améliore nettement la tenue en flexion des mortiers. Contrairement au mortier témoin, qui casse brutalement sans résistance résiduelle, les mortiers fibrés absorbent mieux les déformations après la fissuration. Le MF7, avec des fibres de 7 cm, montre un comportement plus souple, maintenant une certaine résistance après le pic. Le MF10, avec des fibres plus longues, offre une performance supérieure, combinant une meilleure résistance résiduelle et une plus grande capacité de déformation, traduisant une efficacité renforcée des fibres dans le contrôle des fissures.

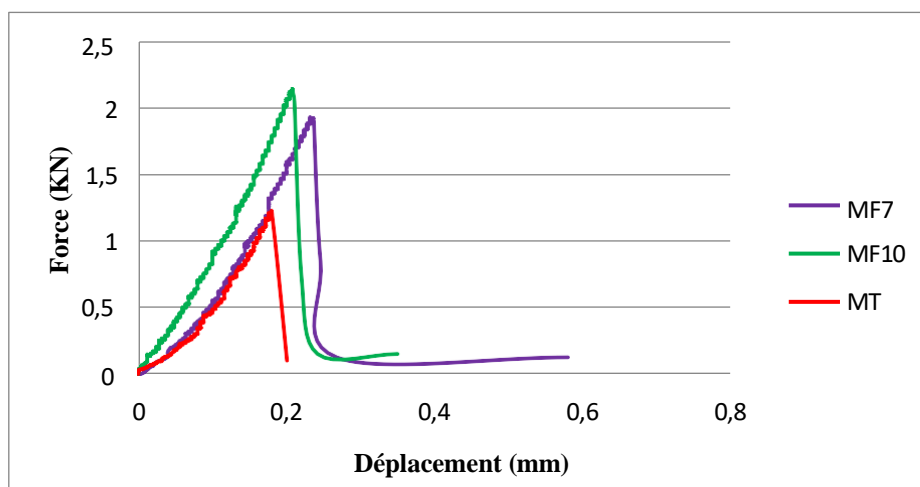


Figure III.7: Courbe force-déplacement en flexion des mortiers à 1,25% en fibres

À 1,25 % de fibres, les mortiers fibrés montrent une nette amélioration par rapport au mortier témoin, qui se rompt brutalement sans résistance résiduelle. Le MF7 voit sa résistance tripler, avec une ductilité accrue malgré un pontage limité par les fibres courtes. Le MF10 offre les meilleures performances, avec une résistance multipliée par cinq, une grande capacité de déformation et une résistance résiduelle élevée, grâce à l'ancrage efficace et à l'arrachement progressif des fibres longues.

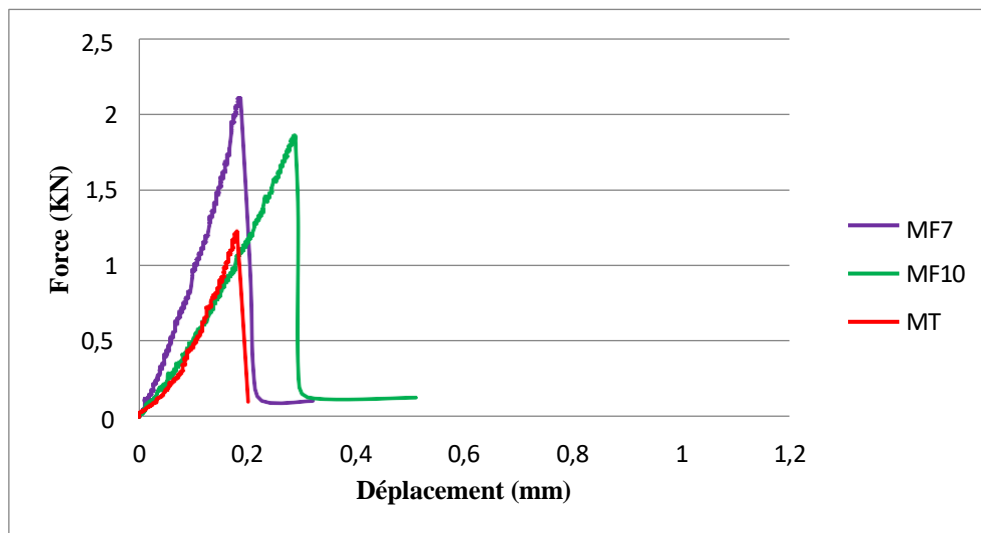


Figure III.8: Courbe force-déplacement en flexion des mortiers à 1,5% en fibres

À 1,5 % de fibres, le mortier témoin reste fragile avec une rupture immédiate et sans résistance résiduelle. Le MF7 atteint la résistance maximale la plus élevée, mais avec une ductilité limitée. En revanche, le MF10 offre un meilleur équilibre : bien que sa résistance soit un peu plus faible il présente une phase post-pic prolongée, une résistance résiduelle élevée et un déplacement plus important, grâce à l'efficacité des fibres longues dans le contrôle des fissures.

III.3 Conclusion :

L'incorporation de fibres de carton améliore le comportement en flexion du mortier, en augmentant la résistance maximale et en introduisant une ductilité post-fissuration absente dans le mortier témoin. À faibles dosages (0,25 %, 0,5 %, 0,75 %), les effets restent modérés, avec une légère amélioration de la résistance et un début de contrôle des fissures, surtout avec les fibres longues (10 cm). Aux dosages plus élevés (1 %, 1,25 %, 1,5 %), l'effet devient beaucoup plus marqué : les fibres de 7 cm (MF7) permettent d'atteindre des pics de force plus élevés, tandis que les fibres de 10 cm (MF10) favorisent un comportement plus ductile, capable d'absorber davantage d'énergie après fissuration. L'augmentation du taux de fibres renforce donc à la fois la résistance et la ténacité du mortier, particulièrement avec des fibres longues et

à partir de 1,25 %, où le compromis entre performance mécanique et ductilité est le plus satisfaisant.

III.4. Comportement en compression simple :

Dans le cadre de la seconde phase de notre étude expérimentale, une analyse du comportement en compression a été menée conformément à la norme NF EN 196-1. Les essais ont été réalisés sur des échantillons prismatiques de dimensions (4×4×4) cm³, découpés à partir des moitiés d'éprouvettes préalablement soumises à l'essai de flexion trois points. L'application de la charge en compression a été effectuée de manière progressive, avec une augmentation lente et régulière de l'effort, afin de garantir une mesure précise et représentative de la résistance mécanique des mortiers testés.

Tableau III.2: Résistance en compression des mortiers étudiés.

%	Résistance en compression (MPa)					
	0.25%	0.5%	0.75%	1%	1.25%	1.5%
Mortier						
MF7	38.42	36.53	35.67	33.81	30.18	28.36
MF10	38.61	35.94	33.73	32.78	32.20	31.96

MF7 : Désigne un mortier à base de fibres de Carton avec une longueur de la fibre de 7 cm

MF10: Désigne un mortier à base de fibres de Carton avec une longueur de la fibre de 10cm

III.4.1 Influence du pourcentage de fibres sur le comportement du mortier en compression :

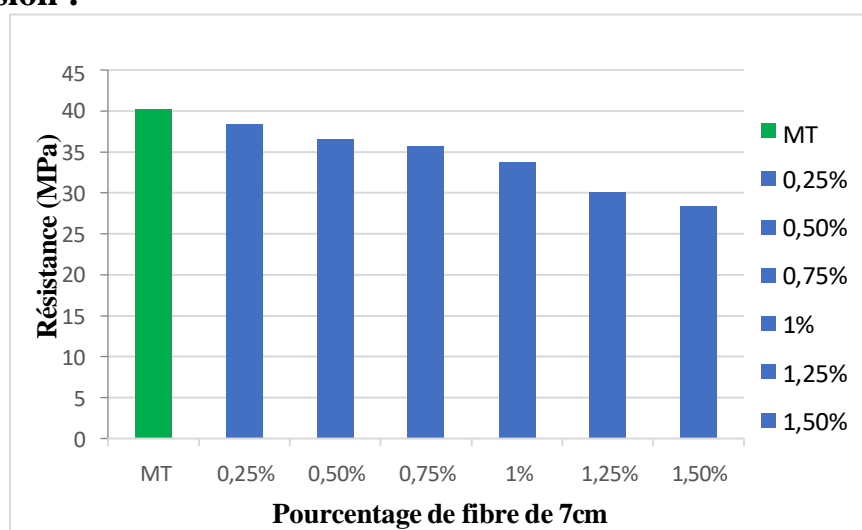


Figure III.9 : Évolution de la résistance à la compression du mortier en fonction du pourcentage de fibres de carton (7 cm)

Cette figure synthétise l'évolution de la résistance pour des fibres de 7 cm sur une plage de pourcentages (0,25% à 1,5%) sur la résistance à la compression d'un mortier. Le mortier témoin (MT), sans fibres, présente la résistance à la compression la plus élevée, atteignant environ 40 MPa.

. On peut déduire que :

- La résistance diminue progressivement avec le pourcentage de fibres.
- Les meilleures résistances semblent se situer entre 0,25% et 0,75%

Pour les fibres courtes, la littérature rapporte un pic d'efficacité autour de d'un pourcentage inférieur à 1% en compression. Au-delà, les gains deviennent marginaux en raison de problèmes de dispersion.

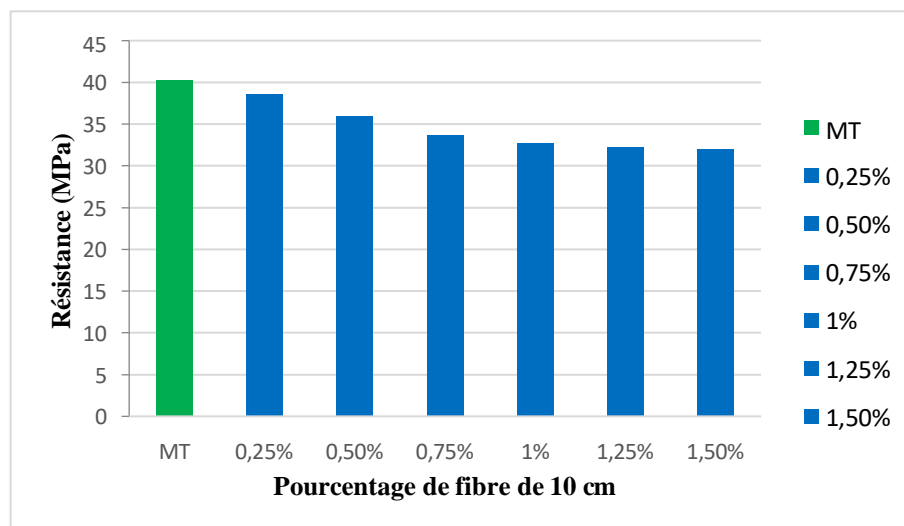


Figure III.10 : Évolution de la résistance à la compression du mortier en fonction du pourcentage de fibres de carton (10 cm)

La figure présente l'évolution de la résistance à la compression d'un mortier contenant des fibres de carton de 10 cm de longueur, incorporées à différents taux (de 0,25 % à 1,5 % en masse). Le mortier témoin (MT), sans ajout de fibres, affiche une résistance de l'ordre de 40 MPa. L'intégration des fibres entraîne une baisse progressive de la résistance, avec une tendance marquée dès 0,75 % :

- À 0,25 %, la résistance reste relativement élevée (≈ 38 MPa), suggérant que de faibles quantités de fibres ne perturbent pas significativement la compacité du matériau.
- La chute devient plus importante à partir de 0,75 % (≈ 33 MPa), indiquant que l'augmentation du volume de fibres interfère avec la microstructure du mortier.

- Au-delà de 1 %, la courbe semble se stabiliser légèrement autour de 31–32 MPa, traduisant une sorte de saturation de l'effet négatif sur la résistance.

Les fibres longues (10 cm) sont connues pour améliorer la ductilité et la résistance aux chocs, Leur capacité à redistribuer les contraintes sur des distances plus grandes explique leur meilleure performance aux pourcentages élevés. Cependant, elles peuvent entraîner une hétérogénéité mal dispersée.

III.4.2 Influence de la longueur de fibres sur le comportement du mortier en compression :

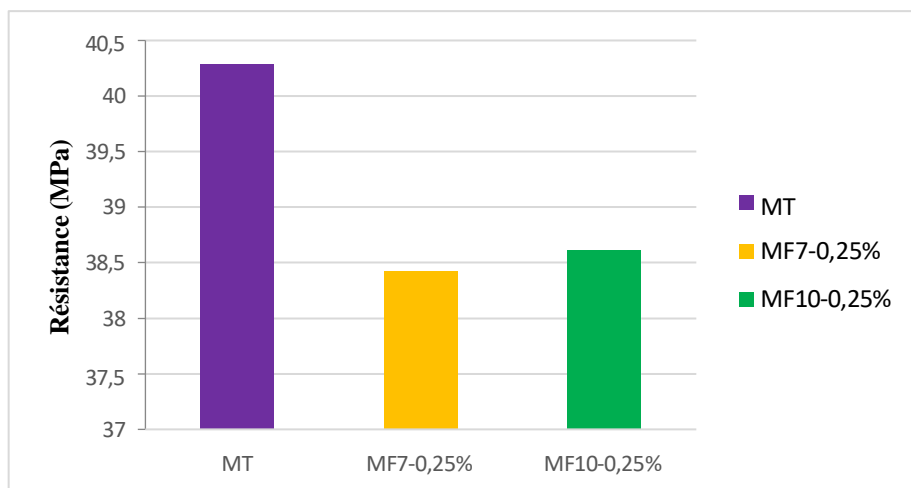


Figure III.11 : Comparaison des fibres de 7 et 10 cm de pourcentage de 0,25% par rapport au mortier témoin

Cette figure compare la résistance du mortier témoin (MT) avec des mortiers renforcés de fibres de 7 cm (MF7) et 10 cm (MF10) à un pourcentage (0,25%). Les données suggèrent que l'ajout de fibres, même à ce faible dosage, présentent une résistance acceptable par rapport au Mortier témoin. Cependant, la différence entre MF7 et MF10 à ce pourcentage est probablement minimale, indiquant que la longueur des fibres a un impact limité à des dosages très bas. Selon les études précédentes, l'ajout de fibres confirme qu'à de très faibles pourcentages, la résistance est marginale. Les fibres agissent principalement comme microfibrilles dispersées, améliorant légèrement la cohésion de la matrice sans influence significative de leur longueur.

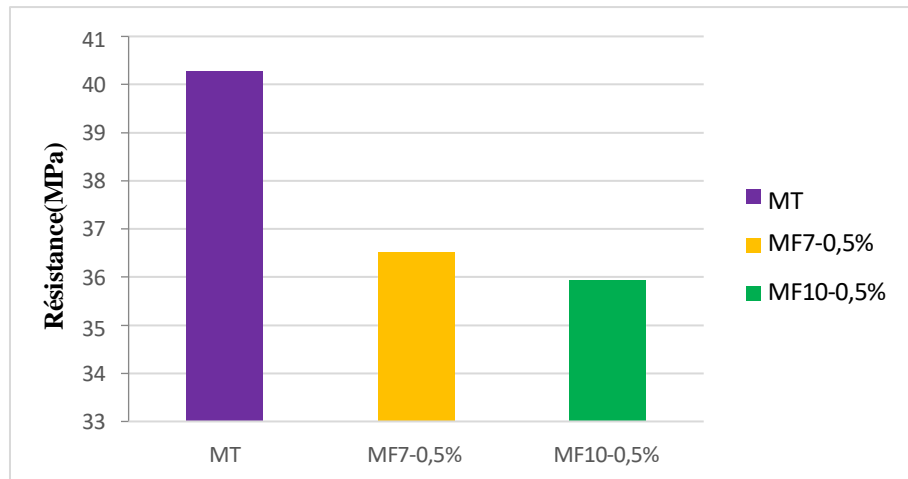


Figure III.12 : Comparaison des fibres de 7 et 10 cm de pourcentage de 0,5% par rapport au mortier témoin

MF7-0,5% et **MF10-0,5%** présentent des résistances similaires, mais avec une légère supériorité pour MF7. Cela suggère qu'à ce faible pourcentage (0,5%), les fibres plus courtes (7 cm) sont légèrement plus efficaces pour renforcer la matrice, probablement en raison d'une meilleure dispersion et adhérence.

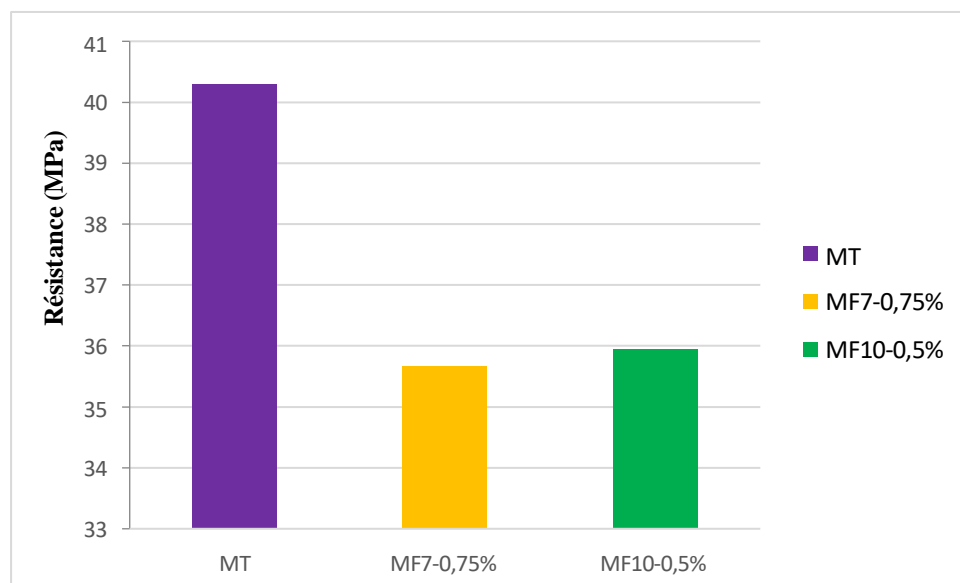


Figure III.13 : Comparaison des fibres de 7 et 10 cm de pourcentage de 0,75% par rapport au mortier témoin

À dosage identique (0,75%), les fibres de 7 cm surpassent celles de 10 cm en résistance, révélant que leur longueur plus courte optimise la dispersion et l'adhérence dans la matrice cimentaire, tandis que les fibres de 10 cm, bien que performantes, montrent des limites à ce dosage

Probablement dues à une répartition moins homogène et une orientation moins efficace des fibres; cette tendance confirme que pour des pourcentages $\leq 1\%$, les fibres courtes sont généralement plus efficaces, alors que les fibres longues pourraient exprimer leur plein potentiel à des dosages plus élevés ($>1\%$) ou dans des applications nécessitant une ductilité accrue.

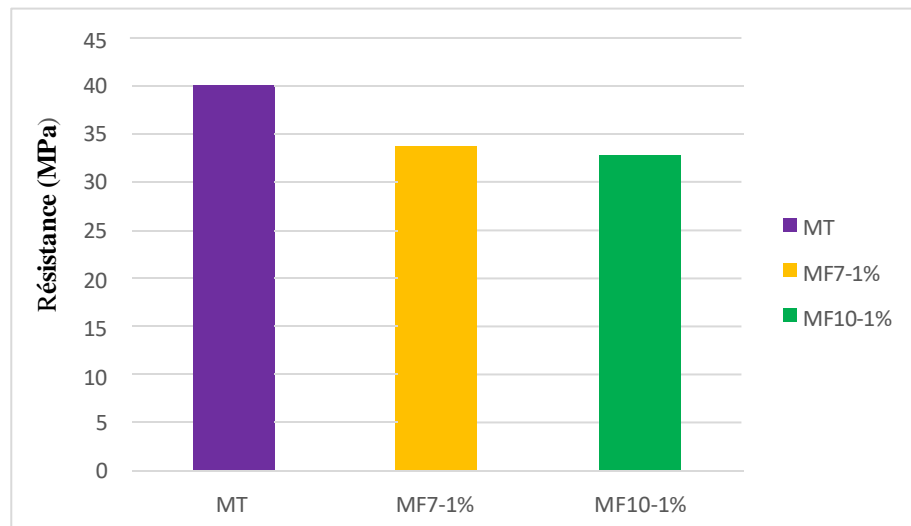


Figure III.14 : Comparaison des fibres de 7 et 10 cm de pourcentage de 1% par rapport au mortier témoin

À un dosage de 1%, le mortier renforcé de fibres de 7 cm (MF7-1%) présente une résistance supérieure à celui avec des fibres de 10 cm (MF10-1%), démontrant que les fibres plus courtes sont plus efficaces à ce pourcentage. Cette différence s'explique par une meilleure dispersion et adhérence des fibres de 7 cm dans la matrice cimentaire, permettant une répartition plus homogène des contraintes. Ces résultats confirment que, pour des dosages autour de 1%, les fibres courtes optimisent davantage la résistance du mortier.

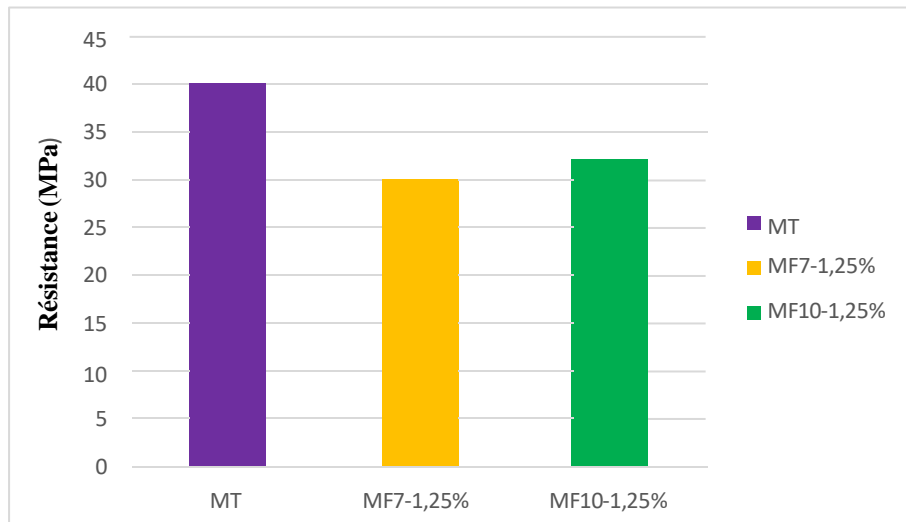


Figure III.15 : Comparaison des fibres de 7 et 10 cm de pourcentage de 1,25% par rapport au mortier témoin

À 1,25% de fibres, les résultats montrent que le mortier avec fibres de 10 cm dépasse désormais en résistance celui avec fibres de 7 cm. Ce renversement de tendance s'explique par l'effet longueur dominant aux dosages élevés à 1,25%, les fibres longues (10 cm) couvrent une plus grande zone dans la matrice, créant un réseau plus efficace pour bloquer les fissures. Leur capacité à redistribuer les contraintes sur des distances plus importantes devient déterminante. Ce changement de tendance est bien documenté dans la littérature sur les composites cimentaires, où on observe systématiquement que les fibres longues prennent l'avantage au-delà d'un certain dosage critique par rapport au mortier témoin

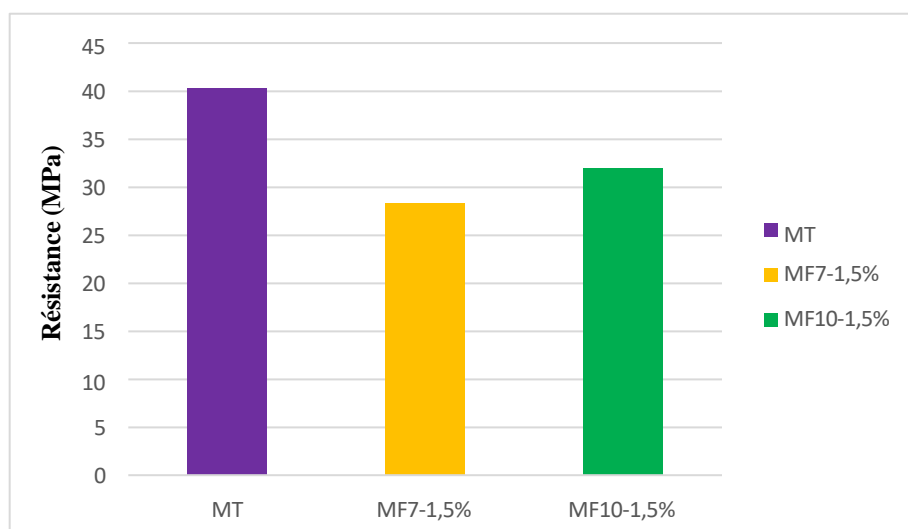


Figure III.16 : Comparaison des fibres de 7 et 10 cm de pourcentage de 1,5% par rapport au mortier

Le graphique montre que les fibres à 1,5% (MF7 et MF10) atteignent des résistances finales, MT10-1,5% semble légèrement supérieur, ce qui confirme la tendance des fibres longues à mieux performer à des pourcentages élevés.

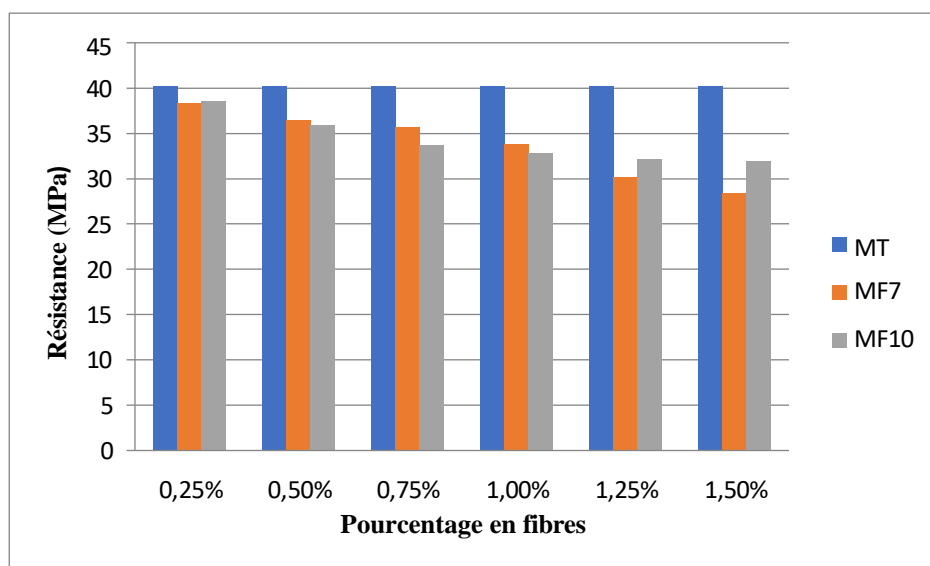


Figure III.17 : Évolution de la résistance à la compression des mortiers fibrés en fonction du pourcentage et de la longueur des fibres de carton

Ce graphique compare la résistance mécanique des mortiers renforcés avec deux longueurs de fibres de carton (7 cm et 10 cm) à différents pourcentages d'incorporation (de 0,25% à 1,5%), par rapport au mortier témoin non fibré (MT).

L'histogramme révèle que l'efficacité des fibres dépend à la fois de leur longueur et du dosage utilisé. Pour les faibles pourcentages (0,25-1%), les fibres courtes de 7 cm (MF7) offrent de meilleurs résultats grâce à leur dispersion optimale dans la matrice comparativement au MF10. À 1%, les performances tendent à s'équilibrer entre MF7 et MF10. Au-delà (1,25-1,5%), les fibres longues de 10 cm (MF10) prennent l'avantage ; car leur longueur permet un meilleur pontage des fissures. Cette transition montre clairement que le choix optimal dépend de l'application visée : fibres courtes pour des dosages $\leq 1\%$ (économiques et efficaces), fibres longues pour des dosages $> 1\%$ (performances accrues).

- Eprouvettes du mortier avec des fibres de 7cm et 10cm avant les essais mécaniques avec différents pourcentages



Figure III.18: Etat des éprouvettes avant écrasement.

- Etat des éprouvettes « mortier avec des fibres de 7 cm » après les essais mécaniques



MF7-0,25%



MF7-0,5%



MF7-0,75%



MF7-1%

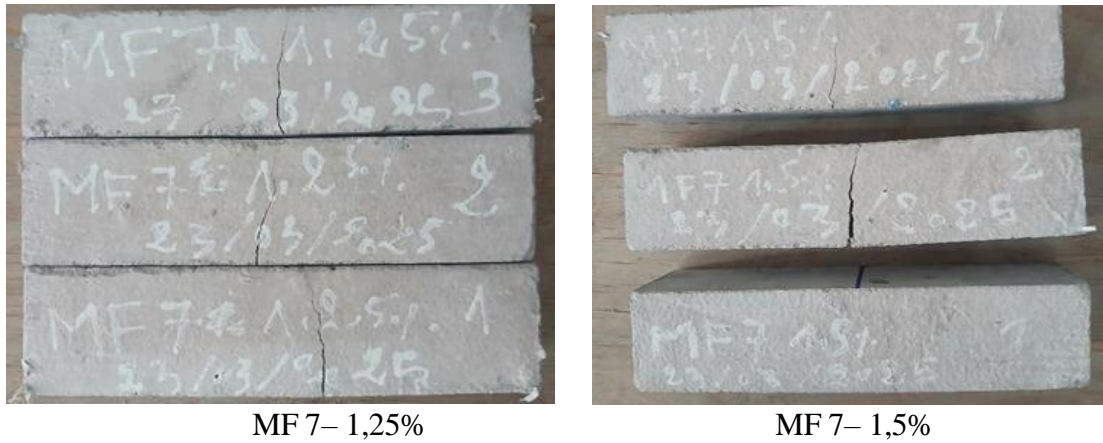
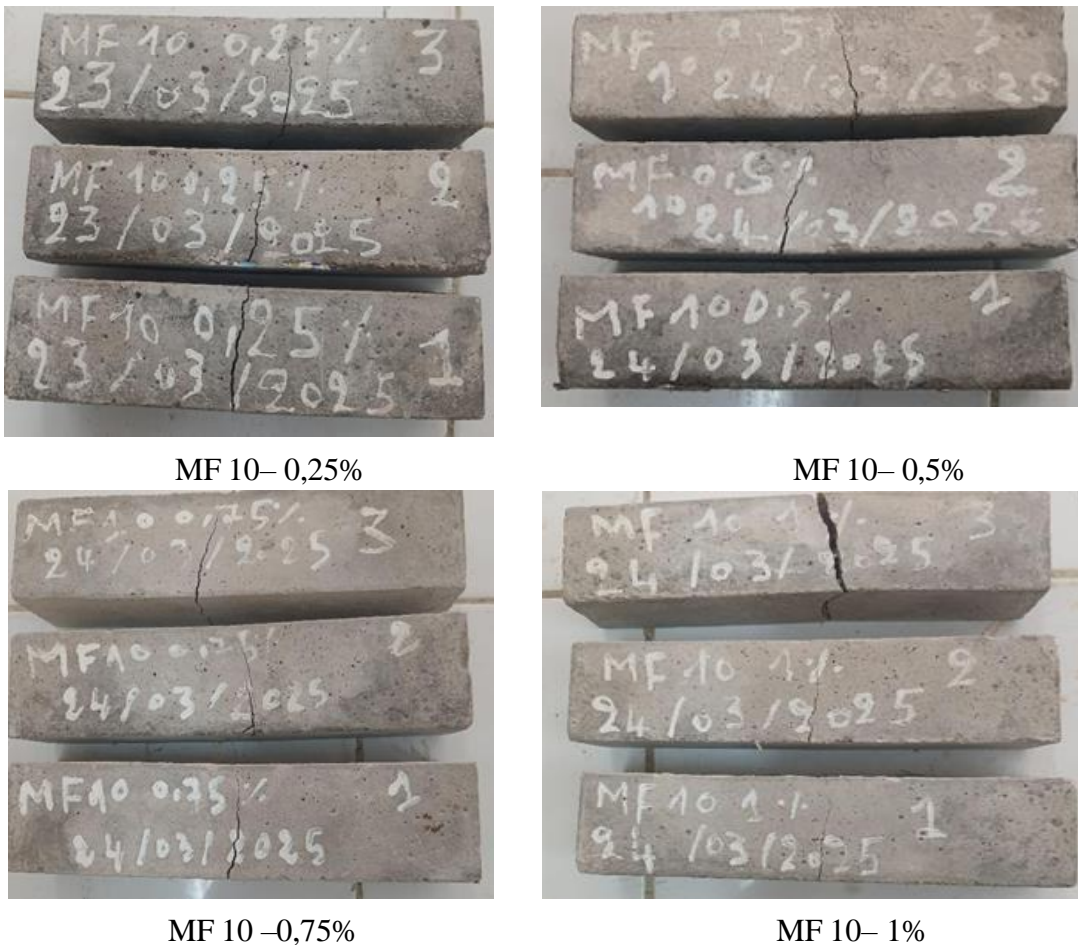


Figure III.19: Etat des éprouvettes après écrasement.

Nous constatons que le mode de rupture de toutes les éprouvettes dans le cas du mortier de fibres de 7 cm de longueur est typique à la rupture classique des bétons sous l'effet d'un effort de traction par flexion trois points. La rupture s'affiche au milieu des éprouvettes à quelques centimètres près pour tous les cas de figures.

- Etats des éprouvettes « mortier de fibres de 10 cm » après les essais mécaniques :





MF 10– 1,25%



MF 10 –1,5%

III.5. Conclusion :

Concernant la résistance à la compression, les résultats obtenus montrent que l'apport des fibres de carton n'engendre qu'un effet très limité, comparé au mortier de référence sans fibres. Cette observation rejoint les conclusions rapportées dans la littérature scientifique, où il est généralement admis que l'incorporation de fibres dans les mortiers ou bétons n'apporte pas de gain significatif en compression. En revanche, les fibres se révèlent particulièrement efficaces pour améliorer le comportement en flexion, en conférant au matériau une meilleure aptitude à la déformation et un caractère ductile plus prononcé après fissuration.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Cette étude expérimentale a permis d'évaluer l'influence de l'ajout de fibres de carton recyclé, de dimensions 7 et 10 cm, sur le comportement mécanique des mortiers cimentaires, en particulier en flexion et en compression. Les résultats obtenus montrent clairement que l'intégration de ces fibres améliore significativement la ductilité et la résistance en flexion du mortier, confirmant ainsi leur rôle efficace dans le contrôle de la fissuration et le renforcement du matériau sous sollicitations de traction. En revanche, la résistance à la compression du mortier fibré reste globalement similaire à celle du mortier témoin, ce qui indique que les fibres de carton n'apportent pas d'amélioration notable dans ce mode de sollicitation.

Ces observations s'inscrivent dans une dynamique de valorisation des déchets solides, en particulier du carton usagé, contribuant à la réduction de l'impact environnemental du secteur de la construction et à la promotion d'une économie circulaire. L'utilisation de fibres cellulosiques recyclées dans les mortiers cimentaires apparaît donc comme une solution innovante et prometteuse, notamment pour améliorer les performances mécaniques liées à la flexion.

Toutefois, pour consolider ces résultats et envisager une application industrielle, des travaux complémentaires sont nécessaires. Il serait pertinent d'étudier la durabilité à long terme des mortiers fibrés, leur comportement face aux agressions environnementales, ainsi que leurs performances thermiques et leur compatibilité avec d'autres liants écologiques. Ces perspectives ouvrent la voie à la conception de matériaux de construction plus durables, économiques et respectueux de l'environnement.

En somme, cette recherche contribue à mieux comprendre le potentiel des fibres de carton recyclé dans le domaine des matériaux cimentaires, et encourage leur intégration dans des solutions constructives innovantes, répondant aux enjeux actuels de développement durable.

Références bibliographiques

- [1] HOUARI Hacène «Contribution à l'étude de l'influence des différents ajouts sur les propriétés des matrices cimentaires (Caractérisation, Performances, Durabilité) », THESE , Doctorat en science en Génie Civil Option : Matériaux : *Soutenue le2009 ;1-3 -21-25p*
- [2] MOKHTAR Nadia ,Comportement Mécanique D'un Mortier De Ciment A Base De Fibre Végétale ,Mémoire de Master
- [3] Mémoire des Effets des fibres végétales sur les propriétés physico-mécaniques du béton
- [4] ACCESMAD – EDUCMAD,Les mortiers. Support pédagogique de technologie du bâtiment. Médiathèque EDUCMAD.
- [5] Thomas Point. « Influence des hydroxypylguars sur les propriétés du mortier de ciment à l'état frais » 27 juin 2014
- [6] CHADI Lamis Rabiaa, « Étude de l'influence d'un adjuvant entraîneur d'air sur la rhéologie des mortiers », (Mémoire de Master), université de M'sila, Année universitaire 2016/2017.
- [7] Mémoire ALMALEKI Abdulrahman caractérisation expérimentale des mortiers a base des déchets de briques 13 Juin 2018.
- [8] Choix des mortiers de maçonnerie.
- [9] Université Badji Mokhtar - Annaba. *Les mortiers*. Cours de Technologie des Matériaux de Construction.
- [10] <https://www.ootravaux.fr/construction-renovation/maconnerie-fondations/maconnerie/difference-ciment-mortier-beton.html>.
- [11] Université de Tlemcen ; SCIENCE DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION Travaux pratiques ,*Mortier normal*. Département de Génie Civil.
- [12] SELLAMI Asma Elaboration des composites cimentaires à base de fibres végétales locales (le diss) : Caractérisation, Durabilité et Application au cas de la maçonnerie ; Thèse de doctorats.
- [13] KRIKER Abdelouahed ; Caractérisation des Fibres de Palmier Dattier Et Propriétés des Bétons et Mortiers Renforcés par ces Fibres en Climat Chaud et Sec ; THESE
- [14] https://ft.univ-tlemcen.dz/assets/uploads/pdf/departement/gc/tp/mortier_normal.pdf.
- [15] <https://tpdemain.com/module/le-mortier/>.

- [16] <https://www.univ-ueb.dz/fssa/wp-content/uploads/2020/03/Chapitre-4-Les-Mortiers.pdf>.
- [17] <https://staff.univ-batna2.dz/sites/default/files/benabid-abderrahmane/files/chapitreiv.pdf>.
- [18] <http://dspace.univ-tiaret.dz/bitstream/123456789/11663/1/chapitre%2001.pdf>.
- [19] http://mediatheque.accesmad.org/educmad/pluginfile.php/47426/mod_resource/content/0/Les%20mortiers.pdf.
- [20] <https://fr.scribd.com/document/584830037/Les-mortiers-document>.
- [21] <http://thesis.univ-biskra.dz/2446/5/chapitre3.pdf>.
- [22] <http://dspace.univ-tiaret.dz/bitstream/123456789/5171/1/TH.M.GC.FR.2022.08.pdf>.