

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR 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***

**Comportement mécanique d'un mortier à base de fibres courtes.**

*Présenté par : M<sup>elle</sup> Kessaci Sonia*

*Devant les jury composé de :*

*Mr. KACHI Mohand-said*

*président*

*Mr. KHELIL Nacim*

*Examineur*

*Mme. TAUCHE-KHELOUI Fatma*

*promotrice*

Promotion : 2024/2025

# Remerciement

Il est difficile de trouver les mots justes pour exprimer toute la gratitude que je ressens aujourd'hui. Ce travail est l'aboutissement d'un parcours jalonné de doutes d'efforts, mais de belles rencontres et de soutiens inestimables.

Je tiens tout d'abord à remercier du fond du cœur ma famille, qui m'a entourée d'un amour inconditionnel et d'un soutien indéfectible. Merci à mes parents pour les sacrifices silencieux ; les encouragements constants et les valeurs qu'ils m'ont transmis ; la patience, la dignité, le respect et la persévérance. Leur confiance en moi a été la boussole qui m'a guidée à travers chaque étape de ce projet.

Je remercie aussi chaleureusement Mme. KHELOUI.F, ma promotrice pour sa disponibilité, sa confiance et ses conseils tout au long de ce projet. son accompagnement a été essentiel dans la réalisation de ce travail et m'a permis de grandir autant sur le plan académique que personnel.

Mes remerciements s'adressent également à Mr. DJADOUN .T son précieux soutien moral et la grande patience et pour son accompagnement, Merci encore pour votre soutien constant et pour le temps que vous m'avez consacré.

Je tiens à remercier chaleureusement toute l'équipe du laboratoire de génie civil pour, sa disponibilité, Travailler à vos côtés a été à la fois formateur et agréable. Merci à chacun de vous pour votre soutien et votre contribution à la réussite de ce projet.

A mes amis proches, qui ont su m'écouter, m'encourager, me faire rire parfois quand je pensais ne plus en être capable. Votre bienveillance et votre énergie ont été essentielles. Vous avez su être cette étincelle qui rallume la flamme.

Une pensée sincère a toutes les personnes qui de près ou de loin ont croisé mon chemin durant cette aventure. Chacun de vous a contribué d'une manière ou d'une autre l'accomplissement de ce projet.

Je tiens aussi à exprimer ma profonde gratitude aux membres du jury pour le temps précieux qu'ils ont consacré à l'évaluation de mon travail. C'est un honneur pour moi d'avoir pu bénéficier de votre regard éclairé et de vos remarques constructives.

Enfin, je tiens à remercier moi-même pour n'avoir pas abandonné. Pour avoir continué à croire, même quand c'était difficile. Pour chaque pas accompli avec détermination, chaque page écrite avec passion. Ce mémoire est l'aboutissement d'un engagement personnel et d'une volonté sereine de réussir.

A tous, merci infiniment.

## **RÉSUMÉ**

L'objectif principal de ce travail est d'analyser l'influence de l'ajout de fibres sur les propriétés mécaniques d'un mortier de ciment, en particulier la résistance à la compression et la résistance à la flexion trois points. Deux paramètres ont été étudiés : la longueur des fibres (3 cm et 5 cm) et le taux d'incorporation. Plusieurs pourcentages de fibre de carton ont été considérés pour l'évaluation du comportement mécanique, tels que : 0,25 %, 0,5 %, 0,75 %, 1 %, 1,25 % et 1,5 %.

À l'issue des différents essais sur le mortier témoin (sans fibres) et les mortiers à base de fibres de carton, des tableaux, des histogrammes et des figures ont été présentés dans le but d'évaluer l'apport de la présence de ces fibres dans la matrice mortier de ciment.

**Mots clés :** mortier, fibres de carton, expérimentation, propriétés mécaniques, analyse.

## **ABSTRACT**

The main objective of this work is to analyze the influence of fiber addition on the mechanical properties of cement mortar, particularly compressive strength and three-point flexural strength. Two parameters were studied: fiber length (3 cm and 5 cm) and the incorporation rate. Several percentages of cardboard fiber were considered for the evaluation of mechanical behavior, namely: 0.25%, 0.5%, 0.75%, 1%, 1.25%, and 1.5%.

Following the various tests conducted on the reference mortar (without fibers) and the mortars containing cardboard fibers, tables, histograms, and figures were presented to assess the contribution of these fibers to the cement mortar matrix.

**Keywords:** mortar, cardboard fibers, experimentation, mechanical properties, analysis.

Résumé

Introduction générale.....1

**CHAPITRE I : Caractéristiques et Usages du Mortier de Ciment**

I.1. Introduction.....2

I.2. Présentation du matériau (mortier) .....2

I.2.1.Définition.....2

I.3. Les composants du mortier.....2

I.3.1. le ciment.....3

I.3.2. Le sable.....4

I.3.3. L'eau.....5

I.3.4. Les adjuvants.....6

I.4. Les différents types de mortiers.....7

I.4.1. Le mortier-ciment.....8

I.4.2. Le mortier de chaux.....8

I.4.3. Le mortier- hydrofuge.....9

I.4.4. Le mortier –colle.....10

I.5. Les emplois des mortiers.....10

I.5.1. Mortiers de maçonnerie.....10

I.5.2. Les chapes.....11

I.5.3. Les enduits.....12

I.5.4.Les scellements et les calages .....13

I.6. les avantages et les inconvénients du mortier.....14

I.6.1. Avantage.....14

I.6.2. Inconvénients.....15

I.7.Les Mortiers à Base de Fibres.....15

I.7.1. Composition du mortier fibré.....15

I.7.2. Types de fibres utilisées .....16

I.8. Propriétés mécaniques et avantages.....17

I.9. Applications.....18

I.9.1. Enduits de façade.....18

I.9.2. Réparation de structures en béton.....18

I.9.3. Mortiers projetés.....19

I.9.4. Chapes et dalles fines.....19

I.9.5. Produits préfabriqués en béton mince.....	19
I.9.6.Construction durable.....	19
I.10.1. Les avantage.....	19
I.10. Inconvénients et Avantages.....	20
I.11.Conclusion.....	20

## **CHAPITRE II :Caractérisation des matériaux et confection des mortiers**

Introduction.....	21
II.1 Présentation des matériaux utilisés.....	21
II .1.1 Le mortier.....	21
II .1.1.1 Le ciment.....	21
II .1.1.2. Le sable.....	23
II .1.1.3. L'eau.....	23
II.2.Détermination des caractéristiques des matériaux.....	24
II.2.1.Equivalent de sable .....	24
II.2.2.3. Masse volumique apparente .....	27
II.2.2.4. Mode opératoire.....	29
II.2.3. Analyse Granulométrique Par Tamisage.....	29
II.2.4.Module de finesse .....	32
II.2.5. Procédure d'obtention des fibres de carton .....	33
II.3. Méthodologie de fabrication des éprouvettes.....	34
II.3.1.Mortier témoin.....	35
II.4. Conservation des éprouvettes.....	40
II.5. Les essais mécanique réalisés .....	41
II.6.Conclusion.....	43

## **CHAPITRE III : Présentation des résultats et interprétations**

Introduction.....	44
III.1.Comportement en flexion trois points des mortiers avec fibre .....	44
III.2 .Influence du pourcentage des fibres.....	45
III.3.Influence de longueur de fibre .....	48
III.4.Comportement en compression.....	52
III.5.Conclusion.....	57
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>58</b>

# **LISTE DES FIGURES**

## **Chapitre I : Caractéristiques et Usages du Mortier de Ciment**

Figure I.1 : composition d'un mortier.....	2
Figure I.2 : le ciment.....	4
Figure I.3 : Granulat Naturel.....	5
Figure I.4 : Granulats concassé.....	5
Figure I.5 : Les Adjuvants.....	6
Figure I.6 : Le mortier-ciment.....	8
Figure I.7 : Le mortier de chaux.....	9
Figure I.8 : Le mortier hydrofuge.....	9
Figure I.9 : Le mortier colle.....	10
Figure I.10 : Le mortier de maçonnerie.....	11
Figure I.11 : Les chapes.....	12
Figure I.12 : Les enduits.....	13
Figure I.13 : Les scellements et les calages.....	14
Figure I.14 : Les Fibres synthétiques.....	16
Figure I.15: Les Fibres métalliques.....	16
Figure I.16: Les Fibres minérales.....	17
Figure I.17: Les Fibres naturelles.....	17

## **Chapitre II : Caractérisation des matériaux et confection des mortiers**

Figure II.1 : Ciment CEM II/B-L 42.5.....	22
Figure. II.2 : Le sable.....	23
Figure II.3 : Fibres de carton.....	24
Figure II.4 : Mesure de l'équivalente de sable visuel et au piston.....	25
Figure II.5 : Essai de la masse volumique apparente.....	28

Figure II.6 : Essai de la masse volumique absolue.....	28
Figure II.7 : La machine d'analyse granulométrique.....	30
Figure II.8 : Courbe granulométrique (sable lavé).....	31
Figure II.9 : Courbe granulométrique sable non lavé.....	32
Figure II.11 : Procédure d'obtention des fibres de carton.....	33
Figure II.12 : Fibre de 3 cm.....	34
Figure II.13 : Fibre de 5 cm.....	35
Figure. II .14. : La table vibrante.....	35
Figure II.15. Le malaxeur.....	36
Figure II.16. Les Moule utilisés.....	37
Figure II.17 : Préparation du mortier témoin.....	39
Figure II.18 : Préparation du mortier de fibre.....	39
Figure II.19 : Mise en œuvre et moulage des éprouvettes.....	40
Figure II.20 : Conservation des éprouvettes dans l'eau.....	41
Figure II.21: Machine IBERTES.....	41
Figure II.22 : Essai de flexion. ....	41
Figure II.23 : Essai de compression. ....	41

### **Chapitre III : Présentation des résultats et interprétations**

Figure III.1 : Epreuve soumise à la traction par flexion trois point.....	44
Figure III.2 : Aspect de la rupture après essai de flexion .....	44
Figure III.3 : Courbe force déplacement pour différents taux de fibre MF-3 .....	46
Figure III.4 : Courbe force déplacement pour différents taux de fibre MF-5 .....	46
Figure III.5 : Courbe force déplacement en flexion des mortiers à 0.25%.....	48
Figure III.6 : Courbe force déplacement en flexion des mortiers à 0.5%.....	48
Figure III.7 : Courbe force déplacement en flexion des mortiers à 0.75 %.....	49

Figure III.8 : Courbe force déplacement en flexion des mortiers à 1%.....	49
Figure III.9: Courbe force déplacement en flexion des mortiers à 1.25%.....	50
Figure III.10 : Courbe force déplacement en flexion des mortiers à 1.5%.....	50
Figure III.11 : Epreuve soumise à la compression.....	52
Figure III.12 : Résistance en compression des mortiers renforcées en fibre de 3 cm.....	53
Figure III.13 : Résistance en compression des mortiers renforcées en fibre de 5 cm.....	54
Figure III.14 : Comparaison de la résistance entre mortiers renforcés et mortier témoin.....	55

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau II. 1:</b> Analyse chimique du ciment Portland composé (CEM II/B-L 42.5).....	22
<b>Tableau II. 2 :</b> Résistance à la compression. ....	23
<b>Tableau II.3 :</b> Données et résultats d'équivalent de sable pour le sable lavé.....	26
<b>Tableau II.4 :</b> Données et résultats d'équivalent de sable pour le sable non lavé.....	26
<b>Tableau II.5:</b> Classification du sable selon la valeur de l'équivalent de sable.....	29
<b>Tableau II.6 :</b> Résultats de la masse volumique absolue et apparente.....	30
<b>Tableau II.7 :</b> Résultats d'analyse granulométrique du sable lavé.....	31
<b>Tableau II.8 :</b> Résultats d'analyse granulométrique du sable non lavé.....	32
<b>Tableau II.9 :</b> Résultats module de finesse. ....	36
<b>Tableau II.10.</b> Dosage des constituants du mortier témoin pour trois éprouvettes (dimensions 4×4×16 cm).....	37
<b>Tableau II.11.</b> Masse des fibres. ....	38
<b>Tableau II.12.</b> Dosage des composants du mortier renforcé selon différents taux d'incorporation de fibres de carton (pour trois éprouvettes 4×4×16 cm).....	38
<b>Tableau III.1.</b> Résistance à la flexion des différentes formulations de mortiers .....	45
<b>Tableau III.2.</b> Résistance à la compression des différentes formulations de mortiers .....	52

# INTRODUCTION GENERALE

---

## Introduction Générale

Dans un contexte mondial marqué par la recherche de solutions durables et innovantes dans le domaine de la construction, l'utilisation de matériaux alternatifs à faible impact environnemental connaît un essor considérable. Parmi ces alternatives, l'intégration de fibres recyclés dans les matériaux cimentaires, notamment dans les mortiers, suscite un intérêt croissant. L'objectif principal de cette démarche est d'améliorer les propriétés mécaniques du mortier de ciment tout en valorisant des déchets ou sous-produits industriels ou domestiques.

Dans cette optique, le présent mémoire s'inscrit dans une démarche expérimentale visant à étudier l'effet de l'incorporation de fibres courtes, issues de carton recyclé, dans un mortier de ciment. Ces fibres, de dimensions 3 cm et 5 cm, ont été ajoutées à différents pourcentages (0,25 % à 1,5 % avec un pas de 0.25%) afin d'évaluer leur influence sur les propriétés du mortier à l'état durci.

Le travail a été structuré en trois chapitres principaux. Le **premier chapitre** est consacré aux généralités sur les mortiers et les fibres, avec une attention particulière portée aux matériaux composites à matrice cimentaire et à l'intérêt de l'utilisation des fibres de renforcement. Le **deuxième chapitre** présente la caractérisation des matériaux utilisés ainsi que les différentes étapes de préparation des mortiers renforcés. Enfin, le **troisième chapitre** est dédié à l'analyse des résultats expérimentaux obtenus et à leur discussion, en mettant en évidence les effets des différents pourcentages et longueurs de fibres sur les performances du mortier.

Ce mémoire se conclut, comme le veut la tradition, par une **conclusion générale** résumant les principales observations et perspectives offertes par cette étude.

---

---

**Recherche  
Bibliographique**

## **Chapitre I**

---

---

# **Caractéristiques et Usages du Mortier de Ciment**

# CHAPITRE I : Caractéristiques et Usages du Mortier de Ciment

## I.1. Introduction

Depuis sa création, le mortier de ciment représente l'un des matériaux essentiels dans les travaux de construction. Il assure une forte liaison entre les éléments de maçonnerie tels que les briques, les blocs et autres, sert à réaliser des enduits, des scellements et même des réparations. Il est composé essentiellement de ciment, de sable et d'eau et éventuellement d'adjuvants. Le mortier joue un rôle fondamental dans la résistance mécanique, l'étanchéité et la durabilité des ouvrages de Génie Civil.

Dans ce chapitre, nous présentons en détail la composition, les propriétés, les méthodes de confection et les différentes applications du mortier de ciment.

## I.2. Présentation du matériau (mortier)

### I.2.1. Définition

Le mortier est un matériau de construction essentiel, utilisé pour lier les éléments entre eux, garantir la stabilité des ouvrages et remplir les espaces entre les blocs de construction. Il est généralement composé de sable, d'un liant tel que le ciment ou la chaux, et d'eau, mélangés selon des proportions précises. Des adjuvants peuvent également être ajoutés afin d'améliorer ses propriétés en fonction des besoins spécifiques. La composition, les dosages des constituants ainsi que les techniques de malaxage et de mise en œuvre influencent la nature du mortier, permettant ainsi d'obtenir différentes variantes adaptées aux exigences de chaque réalisation. [3]

## I.3. Les composants du mortier

Par définition le mortier contient du ciment, de l'eau, du sable et éventuellement des adjuvants ou des additions. La figure. I.1 représente les compositions principales d'un mortier.



Figure .I.1: compositions d'un mortier. [2]

# CHAPITRE I : Caractéristiques et Usages du Mortier de Ciment

---

## I.3.1. Le ciment

Le ciment est un liant hydraulique c'est à dire un matériau minéral finement broyé, de couleur grise, qui lorsqu'il est mélangé à de l'eau ; forme une pâte capable de prendre et de durcir grâce à des réactions chimiques et des processus d'hydratation. une fois durci, il conserve sa résistance et sa stabilité, même en milieu immergé.

Sa fabrication repose sur le broyage et la cuisson, à une température de 1450°C, d'un mélange de calcaire et d'argile. Ce mélange granulaire, appelé clinker, est principalement composé d'une combinaison de chaux, de silice, d'alumine et d'oxyde de fer.

Il existe plusieurs types de ciments, chacun adapté à des usages spécifiques en fonction des exigences mécaniques, chimiques et environnementales. Voici les principaux types de ciments :

- **Ciment Portland (CEM I)**

Ciment classique composé d'au moins 95 % de clinker et au plus 5% de constituants secondaires tel que gypse. Il est utilisé dans la majorité des ouvrages en béton armé, béton précontraint et en maçonnerie.

- **Ciment Portland Composé (CEM II)**

Mélange au moins égale à 65 % de clinker et d'autres constituants tels que laitiers de haut fourneau, cendres volantes, pouzzolanes, fumée de silice, schiste calciné, calcaire, dont le total ne dépasse pas 35 %. Les ciments Portland composés résultent du mélange de clinker en quantité

De façon générale, les CEM II sont bien adaptés pour les travaux massifs exigeant une élévation de température modérée, les routes et le béton manufacturé.

- **Ciment de Haut Fourneau (CEM III)**

Contient une forte proportion de laitier de haut fourneau, ce qui le rend plus résistant aux milieux agressifs et réduit sa chaleur d'hydratation. Idéal pour les ouvrages en environnement marin ou souterrain.

On distingue le CEM III/A, B ou C ou ciment de haut-fourneau, contient entre 36 et 80 % de laitier de haut-fourneau (S) et 20 à 64 % de clinker (K). Le CEM III/ C (également dit ciment de haut-fourneau) contient au moins 81 % de laitier de haut fourneau (S) et 5 à 19 % de clinker (K).

# CHAPITRE I : Caractéristiques et Usages du Mortier de Ciment

---

- **Ciment Pouzzolanique (CEM IV)**

Composé de clinker et de pouzzolanes naturelles ou artificielles, il offre une meilleure résistance aux attaques chimiques, notamment les sulfates. Il est souvent utilisé dans les ouvrages hydrauliques et souterrains.

- **Ciment Composé (CEM V)**

Mélange de clinker, de laitier, de cendres volantes et de pouzzolanes, il est apprécié pour sa durabilité et son faible impact écologique.



**Figure .I.2 : Le ciment.**

## **I.3.2.Le sable**

Le sable est un composant fondamental du béton, jouant un rôle clé dans l'amélioration de sa cohésion en assurant une transition granulaire homogène entre le ciment et le gravier. Il s'agit d'un matériau granulaire constitué de particules minérales telles que le quartz, les micas et les feldspaths, issus de l'altération naturelle des roches.

Le sable utilisé dans la construction provient principalement de deux sources naturelles :

- **Les granulats naturels** : issus de formations géologiques variées comme les plages , les lits de rivières (oueds) et les zones désertiques (sable du Sahara). Ces types de sable constituent la majeure partie des matériaux utilisés dans les constructions. [1]



**Figure .I.3:** Granulat Naturel.

- **Les granulats de concassage :** Les granulats de concassage sont des matériaux obtenus par fragmentation mécanique de roches massives en carrière. Contrairement aux granulats naturels, ils ne proviennent pas de l'érosion naturelle, mais d'un processus industriel visant à produire des particules de tailles et de formes spécifiques. [1]



**Figure .I.4:** Granulat concassé.

### I.3.3.L'eau

L'eau est un élément clé dans la composition du béton et du mortier, jouant un rôle essentiel tout au long de leur cycle de vie grâce à ses propriétés physico-chimiques et mécaniques. Lors de la fabrication, elle remplit deux fonctions majeures :

# CHAPITRE I : Caractéristiques et Usages du Mortier de Ciment

- **Une fonction physique**, qui influence les caractéristiques rhéologiques du béton ou du mortier frais, facilitant ainsi son écoulement, son maniement et son moulage.
- **Une fonction chimique**, qui déclenche et soutient la réaction d'hydratation du ciment, essentielle pour le durcissement et le développement des propriétés mécaniques du matériau.

[2]

Le dosage en eau constitue un enjeu fondamental, nécessitant un équilibre entre deux impératifs souvent opposés :

- Réduire la quantité d'eau pour améliorer la résistance mécanique du matériau.
- Augmenter la teneur en eau pour optimiser son ouvrabilité. [2]

## I.3.4. Les adjuvants

Les adjuvants sont des produits chimiques de plus en plus utilisés dans la fabrication du béton. Incorporés en faible quantité lors du mélange, ils permettent d'améliorer certaines propriétés du matériau, telles que son étanchéité, son temps de prise ou encore sa maniabilité. Grâce à la diversité des adjuvants disponibles, il est possible d'adapter les performances du béton en fonction des exigences spécifiques de chaque projet. [2]



**Figure .I.5:** Les Adjuvants.

Parmi les principaux types d'adjuvants, on distingue :

# CHAPITRE I : Caractéristiques et Usages du Mortier de Ciment

---

- **Les accélérateurs de prise** : Ils accélèrent la prise et le durcissement des bétons et améliorent les résistances mécaniques au jeune âge. Ils permettent le bétonnage par temps froid et le décoffrage rapide sur le chantier.
- **Les accélérateurs de durcissement** : ont pour fonction principale d'accélérer le développement des résistances initiales des bétons, avec ou sans modification du temps de prise. Ils permettent de mettre les bétons rapidement hors gel. Les constituants sont généralement des dérivés de la soude, de la potasse ou de l'ammoniaque.
- **Les retardateurs de prise** : Un retardateur de prise est un adjuvant pour matériaux cimentaires tels que les coulis, les mortiers de ciment et les bétons de ciment. Il est utilisé pour ralentir la réaction d'hydratation du ciment et donc sa prise. Ceci permet d'augmenter son temps de travail.
- **Les plastifiants** : qui améliorent la fluidité du mélange sans augmenter la quantité d'eau. Ces adjuvants ont pour fonction principale de conduire, à même ouvrabilité, à une augmentation des résistances mécaniques par une réduction de la teneur en eau d'un béton.
- **Les super plastifiants** : renforcent encore davantage l'ouvrabilité du béton tout en particulier son rapport eau/ciment. Ils permettent de réduire fortement la teneur en eau du béton donné (haut réducteur d'eau), ou, sans modifier la teneur en eau, d'augmenter considérablement l'affaissement/l'étalement ou de produire les deux effets à la fois.
- **Les entraîneurs d'air** : perçoivent l'incorporation de microbulles d'air, améliorent ainsi la résistance au gel/dégel. Un entraîneur d'air est un adjuvant pour matériaux cimentaires tels que les coulis, les mortiers de ciment et les bétons de ciment.
- **Les pigments** : utilisés pour colorer le béton et lui donner un aspect esthétique particulier. [2]. Ils sont concentrés sous forme de poudre ou liquide ajoutés au béton Directement à l'usine ou dans le camion de malaxage. Le béton est coloré de façon intégrale à travers toute la dalle.

## I.4. Les différents types de mortiers

# CHAPITRE I : Caractéristiques et Usages du Mortier de Ciment

Il est essentiel de noter que différents types de mortiers existent, chacun étant plus ou moins adapté selon l'usage prévu. Ils peuvent être catégorisés en fonction de leur mode de fabrication, qu'elle soit réalisée en usine ou directement sur chantier, de la manière suivante :

## I.4.1. Le mortier de ciment

Le mortier de ciment est principalement composé de ciment, généralement de type Portland ou Portland composé. Ce ciment résulte d'un mélange de calcaire et d'argile, broyé, chauffé à haute température, puis réduit en fine poudre. Ce type de mortier est largement utilisé dans les constructions classiques, telles que les murs et les chapes, lorsque l'emploi d'un mortier spécifique n'est pas nécessaire. [4]

L'un de ses principaux atouts réside dans sa haute résistance à la compression, ce qui en fait un matériau durable et robuste. De plus, il présente un temps de séchage relativement rapide par rapport à d'autres types de mortiers, facilitant ainsi l'avancement des travaux. La figure .I.6 représente un mortier ciment de type ciment portland.



Figure .I.6 : Le mortier de ciment. [4]

## I.4.2. Le mortier de chaux

Ce type de mortier, composé principalement de chaux, présente un durcissement plus progressif et une mise en œuvre plus aisée. Sa structure peut être relativement perméable. Il est obtenu par

# CHAPITRE I : Caractéristiques et Usages du Mortier de Ciment

la cuisson du calcaire et se décline en deux grandes catégories : le mortier de chaux hydraulique et celui de chaux aérienne. [4]

La distinction entre ces deux variantes repose sur leur mode de durcissement : le mortier de chaux hydraulique se solidifie aussi bien au contact de l'eau que de l'air, tandis que le mortier de chaux aérienne ne durcit qu'en présence de l'air. Comparé au mortier de ciment, il offre une résistance mécanique moindre et nécessite un temps de prise plus long. Le durcissement de la chaux hydraulique est chimique et rapide, indépendant de l'air, tandis que celui de la chaux aérienne est atmosphérique et progressif, dépendant fortement de la présence de  $\text{CO}_2$ . Ce critère est essentiel pour choisir le type de chaux selon les conditions du chantier. [4]



**Figure .I.7:** Le mortier de chaux.

## I.5. Applications des mortiers

De manière générale, les différents types de mortiers sont définis en fonction de leurs nombreuses applications. En les classant selon leur usage spécifique, on peut distinguer les catégories suivantes :

### I.5.1. Dans la maçonnerie

Dans les constructions utilisant des éléments maçonnés tels que les blocs de béton, les pierres de taille ou les briques, il est essentiel d'assurer leur assemblage à l'aide d'un mortier adapté. Ce dernier doit posséder des propriétés mécaniques suffisantes pour garantir la transmission des charges tout en assurant une bonne compacité afin de prévenir les infiltrations. [4]

Il est recommandé d'opter pour un mortier ayant une certaine souplesse, c'est-à-dire un module d'élasticité modéré. Cela lui permet de s'ajuster aux légères variations dimensionnelles des matériaux sans provoquer de fissures, assurant ainsi la durabilité et la stabilité de la structure.

# CHAPITRE I : Caractéristiques et Usages du Mortier de Ciment



**Figure .I.8:** Le mortier de maçonnerie.

## I.5.2. Les chapes

Les chapes jouent un rôle essentiel dans l'uniformisation et la mise à niveau d'un dallage, garantissant ainsi une surface plane et régulière. Elles peuvent servir de revêtement de finition, auquel cas des produits spécifiques sont souvent ajoutés pour améliorer leurs performances. Elles peuvent également constituer un support destiné à recevoir un revêtement de sol. [1].

Pour assurer leur efficacité, les chapes doivent posséder une résistance suffisante afin de transmettre les charges au support. Dans certains cas, notamment pour les sols industriels, elles doivent aussi offrir une bonne résistance à l'abrasion et au poinçonnement. De plus, certaines chapes peuvent être conçues pour remplir une fonction thermique ou acoustique, en contribuant à l'isolation du bâtiment. [1]

# CHAPITRE I : Caractéristiques et Usages du Mortier de Ciment



**Figure .I.9:** Les chapes.

## **I.5.3. Les enduits**

En construction, un enduit est une couche de mortier appliquée sur un mur, soit directement sur la maçonnerie, soit sur une couche d'isolation extérieure. Le crépi, quant à lui, est un type d'enduit réalisé à base de mortier ou de plâtre, qui se distingue par sa texture rugueuse (relief picot) plutôt que par une finition lisse.

Les enduits sont principalement constitués de matériaux minéraux, tels que les mortiers de ciment, les mortiers de chaux et les plâtres, qui assurent à la fois protection et esthétique aux surfaces sur lesquelles ils sont appliqués. [4].



**Figure .I.10** : Les enduits.

## **I.5.4. Les scellements et les calages**

Les scellements et les calages sont des techniques utilisées en construction pour assurer la fixation et la stabilité d'éléments structurels ou d'équipements.

- **Le scellement** consiste à immobiliser solidement un élément dans un support à l'aide d'un matériau adapté, comme un mortier de scellement, du béton ou des résines chimiques. Cette technique est couramment utilisée pour ancrer des tiges métalliques, des poteaux, des rails ou divers éléments structurels dans le béton ou la maçonnerie.
- **Le calage**, quant à lui, permet de combler un espace entre deux éléments pour assurer leur mise à niveau, leur stabilité ou leur alignement précis. Il peut être réalisé à l'aide de mortier, de cales rigides ou de produits spécifiques comme des mortiers de calage à retrait compensé. [4].

# CHAPITRE I : Caractéristiques et Usages du Mortier de Ciment



Figure .I.11. Les scellements et les calages.

## I.6. les avantages et les inconvénients du mortier

### I.6.1. Avantage

- **Bonne adhérence** : Il assure une liaison solide entre les éléments de maçonnerie.
- **Facilité d'utilisation** : Facile à préparer et à appliquer, il ne nécessite pas d'équipements complexes.
- **Adaptabilité** : (mortier de ciment, de chaux, bâtard, etc.), selon les besoins du chantier.
- **Durabilité** : Résistant aux intempéries et aux charges mécaniques lorsqu'il est bien dosé et appliqué.
- **Étanchéité** : Certains types de mortier, comme ceux avec des adjuvants hydrofuges, offrent une bonne protection contre l'humidité.
- **Esthétique** : Peut être utilisé comme enduit de finition pour améliorer l'apparence des murs.

### I.6.2. Inconvénients

- **Temps de séchage** : Il nécessite un certain temps pour durcir complètement, ce qui peut ralentir l'avancement des travaux.
- **Fragilité aux fissures** : Avec le temps, il peut se fissurer en raison des variations de température ou du tassement du bâtiment.
- **Sensibilité à l'eau** : Certains mortiers, notamment ceux à base de chaux, sont moins résistants à l'humidité prolongée.
- **Coût variable** : Certains mortiers spéciaux (hydrofuges, isolants, etc.) peuvent être coûteux.

# CHAPITRE I : Caractéristiques et Usages du Mortier de Ciment

---

- **Dépendance aux conditions climatiques** : Un mauvais temps (gel, forte chaleur) peut compromettre son durcissement et sa résistance.
- **Entretien nécessaire** : Des réparations peuvent être requises sur les joints détériorés au fil du temps.

En résumé, le mortier est un élément incontournable en construction, mais son choix doit être adapté aux contraintes du chantier pour maximiser ses avantages et limiter ses inconvénients.

## I.7. Les Mortiers à Base de Fibres

Le mortier fibré est un matériau de construction composite constitué d'un mélange classique de mortier (sable, liant, eau) dans lequel sont incorporées des fibres de différentes natures (synthétiques, métalliques, minérales ou végétales). L'ajout de ces fibres permet d'améliorer les propriétés mécaniques du mortier, notamment sa résistance à la traction, à la compression et au cisaillement, ainsi que de limiter la fissuration et d'accroître la durabilité du matériau. [6]

### I.7.1. Composition du mortier fibré

- Sable siliceux** : souvent de granulométrie 0/2 mm ou 0/1 mm
- Ciment** : généralement de type CEM I ou CEM II/B 42.5N
- Eau** : quantité à ajuster selon la consistance désirée et la formulation
- Fibre** : ajoutées pour renforcer le mortier et limiter la fissuration

### I.7.2. Types de fibres utilisées

- Fibres synthétiques** : polypropylène, polyéthylène, polyamide (nylon) [6]
- Fibres métalliques** : acier, inox ; alliage amorphe (plus rares dans les mortiers que dans les bétons). [6]
- Fibres minérales** : verre, basalte, mica, amiante.
- Fibres naturelles** : par exemple jonc.

# CHAPITRE I : Caractéristiques et Usages du Mortier de Ciment



Figure .I.12. Les Fibres synthétiques.



Figure .I.13. Les Fibres métalliques.

# CHAPITRE I : Caractéristiques et Usages du Mortier de Ciment



**Figure .I.14.** Les Fibres minérales.



**Figure .I.15.** Les Fibres naturelles.

## **I.8. Propriétés mécaniques et avantages**

**I.8.1. Résistance à la fissuration :** Les fibres dans les mortiers jouent un rôle crucial dans la résistance à la fissuration en améliorant la ductilité et en limitant la propagation des fissures. Elles permettent un comportement post-fissuration, c'est-à-dire que même après l'apparition des fissures, le mortier conserve une capacité à résister aux charges grâce au transfert de contraintes assuré par les fibres entre les lèvres de fissure.[7]

# CHAPITRE I : Caractéristiques et Usages du Mortier de Ciment

---

**I.8.2. La Ductilité :** les fibres dans le mortier assurent une meilleure ductilité en transformant un comportement fragile en un comportement plus ductile, augmentant la capacité du mortier à résister aux fissures, à supporter des déformations importantes et à dissiper

L'énergie lors de la rupture. Cette amélioration est particulièrement marquée avec les fibres d'acier et dépend du pourcentage et de la qualité de leur incorporation dans la matrice. [7]

**I.8.3. Résistance à l'usure :** l'incorporation de fibres, principalement métalliques, dans les mortiers augmente leur résistance à l'usure en renforçant la cohésion interne, en limitant la fissuration de surface et en améliorant la capacité à résister aux chocs et à l'abrasion, ce qui prolonge la durabilité des structures exposées à des conditions d'utilisation sévères. [7]

**I.8.4. Comportement au feu :** les fibres métalliques dans les mortiers améliorent significativement leur comportement mécanique au feu jusqu'à environ 500 °C, en limitant la fissuration et en augmentant la ductilité. Les fibres synthétiques contribuent à réduire les risques liés à la pression de vapeur. Au-delà de 500 °C, les performances diminuent, notamment à cause de l'écaillage et de la dégradation des fibres, mais les mortiers fibrés conservent généralement une meilleure résistance résiduelle que les mortiers non fibrés. [8]

## I.9. Applications

### I.9.1. Enduits de façade

Dans les enduits de façades, le mortier fibré est utilisé pour la réalisation de corps d'enduit, la finition, la réparation et le rattrapage des défauts, offrant une meilleure résistance mécanique, une meilleure adhérence et une durabilité accrue face aux fissurations et aux agressions extérieures. [9]

### I.9.2. Réparation de structures en béton

les mortiers fibrés de réparation sont des matériaux performants et polyvalents, essentiels pour restaurer, renforcer et prolonger la vie des structures en béton endommagées, en offrant une excellente adhérence, une résistance mécanique élevée et une durabilité accrue, même dans des environnements agressifs. [9]

# CHAPITRE I : Caractéristiques et Usages du Mortier de Ciment

---

## **I.9.3. Mortiers projetés**

Les mortiers et bétons fibrés projetés offrent une solution technique performante pour la construction et la réparation d'ouvrages complexes, grâce à leur résistance mécanique améliorée, leur ductilité et leur capacité à mieux contrôler la fissuration, tout en facilitant la mise en œuvre sur des surfaces difficiles.

## **I.9.4. Chapes et dalles fines**

Les mortiers fibrés dans les chapes et dalles fines offrent ainsi une solution technique robuste, limitant les fissurations, améliorant la résistance mécanique et la durabilité, tout en facilitant la mise en œuvre et l'entretien des sols.

## **I.9.5. Produits préfabriqués en béton mince**

L'utilisation de fibres dans les bétons préfabriqués permet de mieux maîtriser les efforts lors de la manutention des éléments à jeune âge, réduisant les risques de fissuration ou de casse prématurée.

## **I.9.6. Construction durable**

Les mortiers fibrés sont des matériaux clés pour une construction durable, car ils améliorent la longévité des ouvrages, optimisent l'utilisation des ressources, réduisent les besoins d'entretien, et s'intègrent bien dans des formulations écologiques, tout en contribuant à la performance énergétique des bâtiments.

## **I.10. Inconvénients et Avantages**

### **I.10.1. Les avantages**

- Coût faible (fibre de verre)
- Isolation excellente (fibre de verre)
- Grande résistance en tension et en compression (fibre de carbone)
- Usinage facile (fibre de carbone)
- Bonne résistance aux agents chimiques (fibre polypropylène)
- Pas d'attaque par les insectes et les moisissures (fibre polypropylène)
- Faible coefficient de dilatation (fibre de carbone)
- Excellente résistance aux impacts (fibre de verre)

# CHAPITRE I : Caractéristiques et Usages du Mortier de Ciment

---

## I.10.2. Les inconvénients

- Sensibilité à l'abrasion (fibre de verre)
- Densité élevée (fibre de verre)
- Faible résistance aux charges cycliques (fibre de verre)
- Coût élevé (fibre de carbone)
- Faible allongement et rayon de courbure (fibre de carbone)
- Pouvoir absorbant nul (séchage rapide) (fibre polypropylène)
- Affinité tinctoriale nulle (fibre polypropylène).

## I.11. Conclusion

Dans ce premier chapitre, nous avons présenté les fondements relatifs au mortier et aux fibres, en mettant en évidence leur composition, leurs propriétés, ainsi que leurs domaines d'application dans le secteur du bâtiment et des travaux publics. Le mortier, en tant que matériau de base incontournable en construction, présente une grande diversité selon les liants utilisés (ciment, chaux, etc.), les adjuvants ajoutés, ou encore selon les usages auxquels il est destiné (maçonnerie, enduits, scellements, chapes...). L'introduction des fibres dans les formulations de mortier représente une évolution significative dans le domaine des matériaux composites. Elle permet d'améliorer considérablement les performances mécaniques et la durabilité du matériau, tout en limitant la fissuration et en augmentant sa ductilité. Différents types de fibres, qu'elles soient métalliques, synthétiques, minérales ou naturelles, apportent des propriétés spécifiques qui peuvent être exploitées selon les besoins du chantier.

# **CHAPITRE I : Caractéristiques et Usages du Mortier de Ciment**

---

## **Chapitre II**

**Caractérisation des matériaux  
et confection des mortiers**

### II.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous avons décrit les divers matériaux nécessaires pour la confection des différents mélanges, ainsi que les méthodes expérimentales utilisées pour évaluer leurs performances mécaniques. Sont également présentés les essais mécaniques de flexion trois points et de compression, accompagnés des protocoles opératoires et des techniques de mesure associées.

### II.2. Présentation des matériaux utilisés

#### II .2.1. Le mortier

Pour répondre aux exigences concernant la confection des mortiers nous nous sommes appuyés sur la norme EN-196-1 pour la composition de tous les spécimens d'étude (3 Sable, 1Ciment et 0.5 Eau) [11]. Dans le cadre de cette étude, deux types de mortiers ont été réalisés :

- Un mortier de référence (Témoin) composé de sable, ciment et d'eau, noté MT
- Un mortier à base de fibres de Carton composé de sable, de ciment, d'eau et de fibres issues de l'industrie de récupération, noté MF.

##### II .2.1.1. Le ciment

Le ciment utilisé est un ciment Portland de haute qualité, de type CEM II/B-L 42.5 N . Ce ciment est fourni par la Société des Ciments LAFARGE.



Figure II.1 : Ciment CEM II/B-L 42.5.

## CHAPITRE II : Caractérisation des matériaux et confection des mortiers

**Tableau. II. 1:**Analyse chimique du ciment Portland composé (CEM II/B-L 42.5)

Composant	Formule chimique	Teneur moyenne (%)
Oxyde de calcium	CaO	64
Dioxyde de silicium	SiO <sub>2</sub>	21
Oxyde d'aluminium	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6
Oxyde ferrique	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4
Oxyde de magnésium	MgO	2
Anhydride sulfurique	SO <sub>3</sub>	3
Oxyde de sodium	Na <sub>2</sub> O	0.5
Oxyde de potassium	K <sub>2</sub> O	0.5
Pertes au feu	LOI	2
Calcaire ajouté (filler)	CaCO <sub>3</sub>	15

Le tableau ci-dessous concerne la résistance à la compression du ciment Portland composé CEM II/B-L selon les normes algériennes (notamment NA 234 : norme algérienne qui régit la méthode d'essai pour mesurer la résistance à la compression des ciments.

**Tableau. II. 2 :** Résistance à la compression. [12]

Durée de cure	Résistance caractéristique minimale à la compression (MPa)
2 jours	10 – 15
7 jours	Variable, supérieure à 2 jours
28 jours	≥ 42,5

### II .2.1.2. Le sable

Nous avons utilisé un sable de carrière classe granulaire 0/3 issu de l'extraction de carrière dont les grains ont une granulométrie compris entre 0 et 3 millimètres. Elle est obtenue par concassage de roches, puis tamisé pour obtenir la granulométrie désirée.



**Figure. II.2 :** Le sable.

### II .2.1.3. L'eau

L'eau utilisée pour les différentes gâchées de mortier est issue du robinet de laboratoire de Génie Civil Université Mouloud Mammeri. C'est une eau potable (eau de robinet).

### II.2.1.4. Les fibres

Dans le cadre de notre recherche, nous avons utilisé des fibres de carton. Un matériau rigide obtenu par l'assemblage de fibres cellulosiques, principalement issues du bois ou du recyclage de papiers et cartons usagés. Ces fibres sont généralement très allongées et agglomérées pour former des feuilles épaisses et résistantes, dont la composition, la densité et le mode de fabrication déterminent la rigidité et les propriétés mécaniques du carton.

Le carton peut être fabriqué à partir de fibres vierges (provenant directement du bois) ou de fibres recyclées (issues du retraitement de papiers/cartons usagés). Selon le procédé, on distingue différents types de carton (carton plat, carton ondulé, carton-fibre dur), mais tous reposent sur la cohésion de ces fibres de cellulose.

Les fibres de carton utilisées dans ce travail proviennent du recyclage de boîtes de lait . Ces emballages sont composés principalement de trois matériaux :

- ❖ **Carton (environ 70 à 75 %)** : composé de fibres de cellulose, qui constituent la base de la fibre végétale.
- ❖ **Plastique (polyéthylène – environ 20 à 25 %)** : utilisé pour l'étanchéité et la protection.
- ❖ **Aluminium (environ 5 %)** : présent en fine couche pour conserver le contenu (barrière contre la lumière et l'air).



**Figure II.3 :** Fibres de carton.

### II.3.Détermination des caractéristiques des matériaux

#### II.3.1.Equivalent de sable

➤ **Définition**

Il s'agit de déceler la présence d'éléments fins dans un sable, et d'en caractériser l'importance par une valeur numérique. C'est un essai simple et rapide . Aisément réalisable à la carrière ou sur chantier. [11]

➤ **Mode opératoire**

- pesée de 120 g.
- Remplir les éprouvettes avec l'eau jusqu'au premier trait (inférieur).
- Verser la quantité de sable (120g) à l'aide de l'entonnoir et taper fortement afin d'éliminer toutes les bulles d'air.
- Laisser reposer pendant 10 minutes.
- Boucher les éprouvettes et les agiter par des mouvements rectilignes horizontaux de 20 cm d'amplitude, 90 cycles en 30 secondes ( à la main à l'aide d'un agitateur mécanique.)
- Retirer le bouchon et laver les parois de l'éprouvette et les remplir jusqu'à ce que la solution atteigne le 2<sup>ème</sup> repère.

## CHAPITRE II : Caractérisation des matériaux et confection des mortiers

- laisser reposer 20 min en évitant toute vibration.
- 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 flocculat et  $h_2$  à l'aide d'un piston descendu jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment.



**Figure II.4 :** Mesure de l'équivalente de sable visuel et au piston.

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

$$E_s = H_2/H_1 * 100\%$$

Où  $H_2$  : est la hauteur du sable propre et  $H_1$  : la hauteur total (sable+flocculat).

### ❖ Sable lavé

**Tableau II.3 :** Données et résultats d'équivalent de sable pour le sable lavé.

Eprouvettes	$H_1$ (cm)	$H_2$ (cm)	ES (%)
N°01	8.9	8.95	100
N°02	9.35	8.5	90
N°03	8.95	7.8	87

## CHAPITRE II : Caractérisation des matériaux et confection des mortiers

### ❖ Sable non lavé

**Tableau II.4 :** Données et résultats d'équivalent de sable pour le sable non lavé.

Eprouvettes	H <sub>1</sub> (cm)	H <sub>2</sub> (cm)	ES (%)
N°01	9.7	7.5	77
N°02	9.5	7.4	77
N°03	9.3	7.2	77

Grâce à l'essai d'équivalent de sable (ES), il est possible, en fonction des résultats obtenus, de classer le sable selon son degré de propreté (sa qualité) et d'en déterminer les usages appropriés, comme illustré dans le tableau II.5:

**Tableau II.5:** Classification du sable selon la valeur de l'équivalent de sable.[12].

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 ≤ ES < 75	60 ≤ ES < 70	Sable légèrement argileux de propreté admissible pour béton de qualité courante et on ne craint pas particulièrement le retrait.
75 ≤ ES < 85	70 ≤ 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 le résultat obtenu :

**Le sable lavé** ES > 80 sable très propre : l'absence presque total de fins argileuses, risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

**Le sable non lavé** 75 < ES < 85 sable propre à faible pourcentage de fins argileuse convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.

### II.3.2. Masses volumique

#### II.3.2.1. Définition

La masse volumique d'un corps est la masse de l'unité de volume de ce corps. On distingue la masse volumique absolue et la masse volumique apparente.

#### II.3.2.2. Masse volumique absolue :

La masse de l'unité de volume absolu du corps, c'est à dire de la matière qui constitue le corps, sans tenir compte du volume des vides.

#### II.3.2.3. Masse volumique apparente :

La masse de l'unité de volume apparent du corps c'est-à-dire du volume constitué par la matière du corps et le vides qu'elle contient. [11]

#### II.3.2.4. Mode opératoire

##### ➤ Masse volumique apparente

- Prendre l'échantillon dans les deux mains.
- Verser l'échantillon toujours au centre du récipient, jusqu'à ce qu'il déborde tout autour en formant un cône, raser à la règle et Peser le contenue.
- on calcule masse volumique apparente à partir de la formule suivante :

$$MV_{ap} = \frac{M}{V}$$

##### ➤ Masse volumique absolue

- Remplir une éprouvette graduée avec un volume  $V_1$  d'eau.
- peser un échantillon sec  $m$  de granulats (environ 300 g) et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.

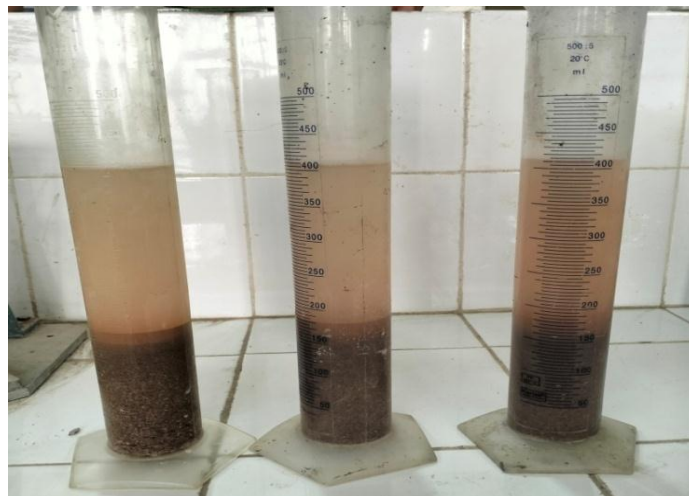
Ensuite, on lit le nouveau volume  $V_2$ .

Le volume absolu est  $V = V_2 - V_1$ , la masse volumique absolue est :

$$MV_{ab} = \frac{M_s}{V_2 - V_1}$$



**Figure II.5 :** Essai de la masse volumique apparente.



**Figure II.6 :** Essai de la masse volumique absolue.

## CHAPITRE II : Caractérisation des matériaux et confection des mortiers

Tableau II.6 : Résultats de la masse volumique absolue et apparente.

Classe granulaire	Masse volumique absolue (g/cm <sup>3</sup> )	Masse volumique apparente (g/cm <sup>3</sup> )
Sable lavé (0/3)	2.66	1.629
Sable non lavé (0/3)	2.96	1.617

### II.3.3. Analyse Granulométrique par Tamisage

Cette technique permet de classer les grains d'un échantillon à l'aide d'une colonne de tamis superposés, dont les ouvertures sont de plus en plus fines de haut en bas. [11]

#### ➤ Mode opératoire

- Empiler les tamis par ordre décroissant de taille de mailles.
- Placer l'échantillon sur le tamis supérieur.
- Soumettre la colonne de tamis à des vibrations mécaniques, les grains se répartissent selon leur taille : les plus gros restent en haut, les plus fins traversent vers le bas.
- Déterminer la courbe granulométrique (pourcentage de passants cumulés en fonction de la taille des mailles).



Figure II.7 : La machine d'analyse granulométrique.

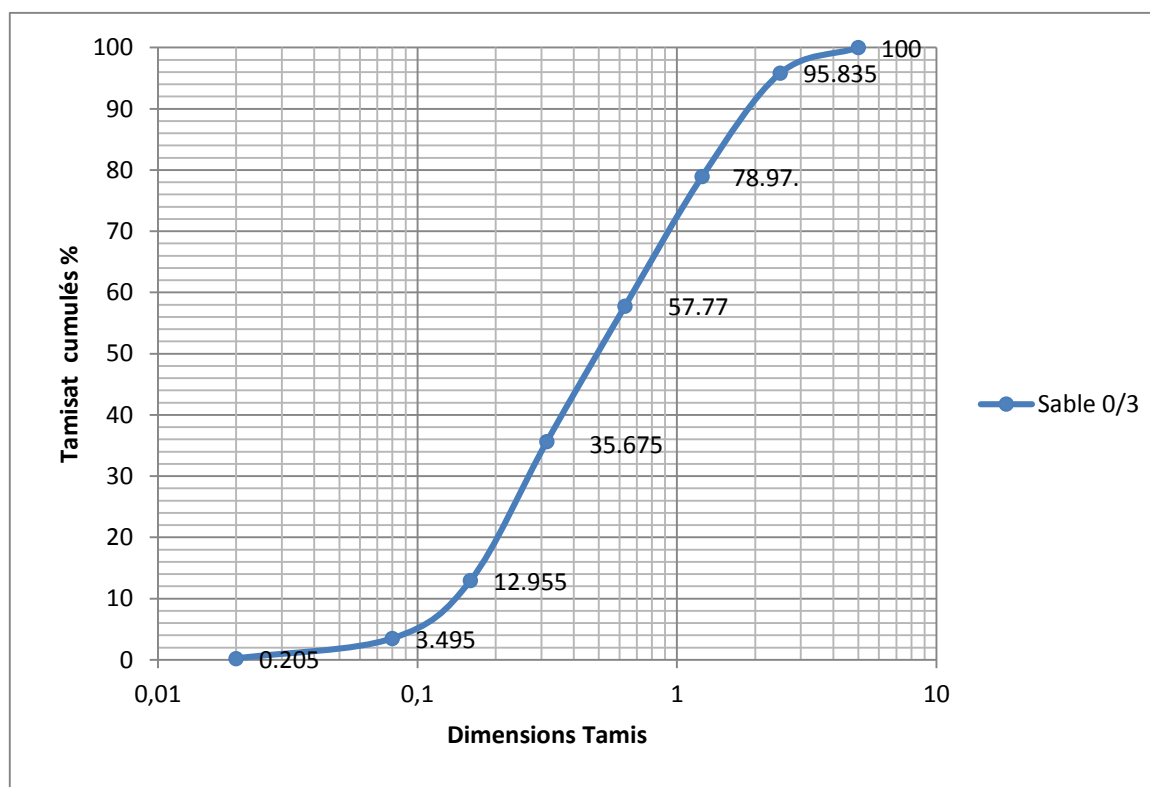
## CHAPITRE II : Caractérisation des matériaux et confection des mortiers

Les tableaux suivants montrent les résultats d'analyse granulométrique obtenue pour les sables utilisés.

### ❖ Sable lavé

**Tableau II.7 :** Résultats d'analyse granulométrique du sable lavé.

Tamis (mm)	Refus(g)	Refus cumulés(g)	Refus cumulés(%)	Tamisât cumulés(%)
5	0	0	0	100
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	35.675
0.16	454.4	1740.9	87.045	12.955
0.08	189.2	1930.1	96.505	3.495
fond	65.8	1995.9	99.79	0.205



**Figure II.8 :** Courbe granulométrique (sable lavé).

## CHAPITRE II : Caractérisation des matériaux et confection des mortiers

### ❖ Sable non lavé

Tableau II.8 : Résultats d'analyse granulométrique du sable non lavé.

Tamis (mm)	Refus(g)	Refus cumulés(g)	Refus cumulés(%)	Tamisât 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

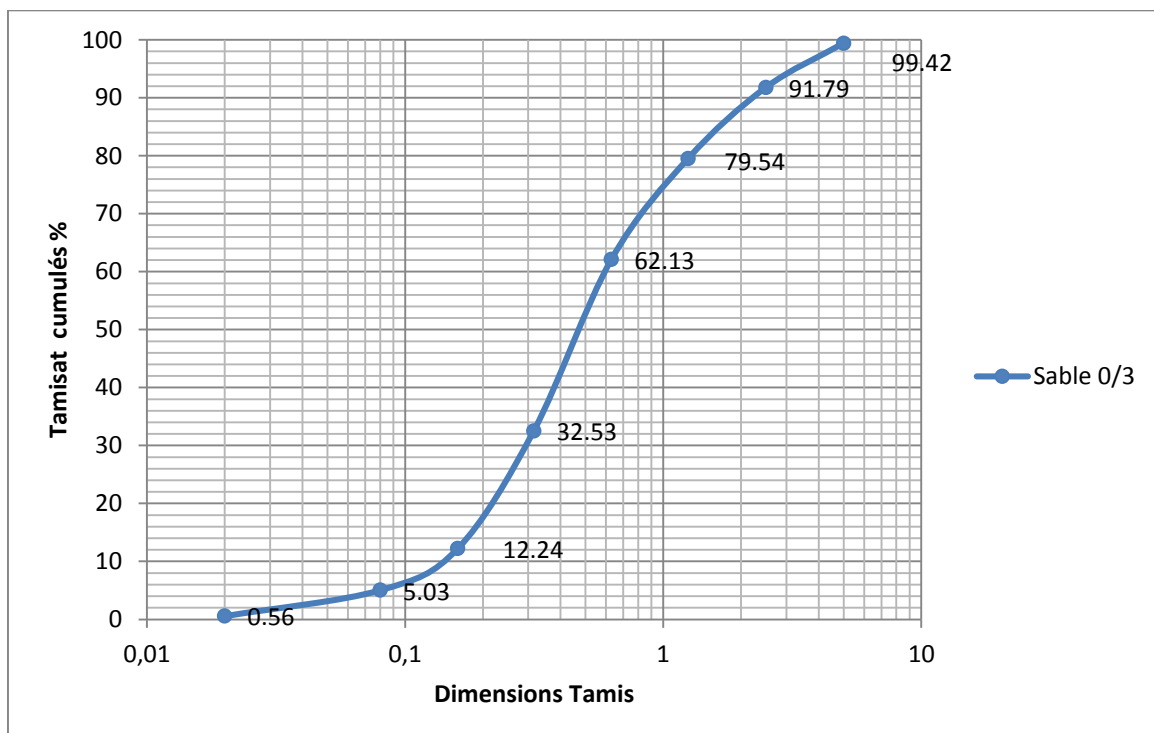


Figure II.9 : Courbe granulométrique sable non lavé.

### II.3.4. Module de finesse

#### ➤ Définition

Le module de finesse (Mf) est un indicateur numérique synthétique utilisé pour caractériser la granulométrie des sables. Il permet de quantifier si un sable est trop fin, équilibré ou trop grossier, ce qui influence directement les propriétés du béton.

$$Mf = \frac{\text{sommes des refus cumulés}(0.16-0.315-0.63-1.25-2.5-5)}{100} (\%)$$

#### ➤ Résultats obtenus pour le sable lavé et non lavé

Tableau II.9 : Résultats module de finesse.

Classe granulaire	Module de finesse
sable lavé (0/3)	2.2
Sable non lavé (0/3)	2.2

D'après les résultats obtenus : Le sable est effectivement **préférentiel** (granulométrie équilibrée, idéale pour la plupart des applications béton). D'après les résultats obtenus, nous avons constaté que le sable non lavé présente de meilleures performances que le sable lavé, ce qui nous a conduits à privilégier son utilisation pour la suite de nos travaux.

### II.3.5. Procédure d'obtention des fibres de carton

Les fibres de carton utilisées dans cette étude ont été extraites à partir de cartons de lait recyclés. Dans un premier temps, les cartons ont été soigneusement nettoyés afin d'éliminer toute impureté ou résidu de lait pouvant altérer les propriétés du matériau. Une fois nettoyés, ils ont été laissés à sécher à l'air libre jusqu'à évaporation complète de l'humidité. Après séchage, les cartons ont été découpés à l'aide d'une machine de découpe en filaments de dimensions contrôlées, mesurant 3 cm et 5 cm de longueur. Les fibres ainsi obtenues ont ensuite été ajoutées au mélange du mortier.

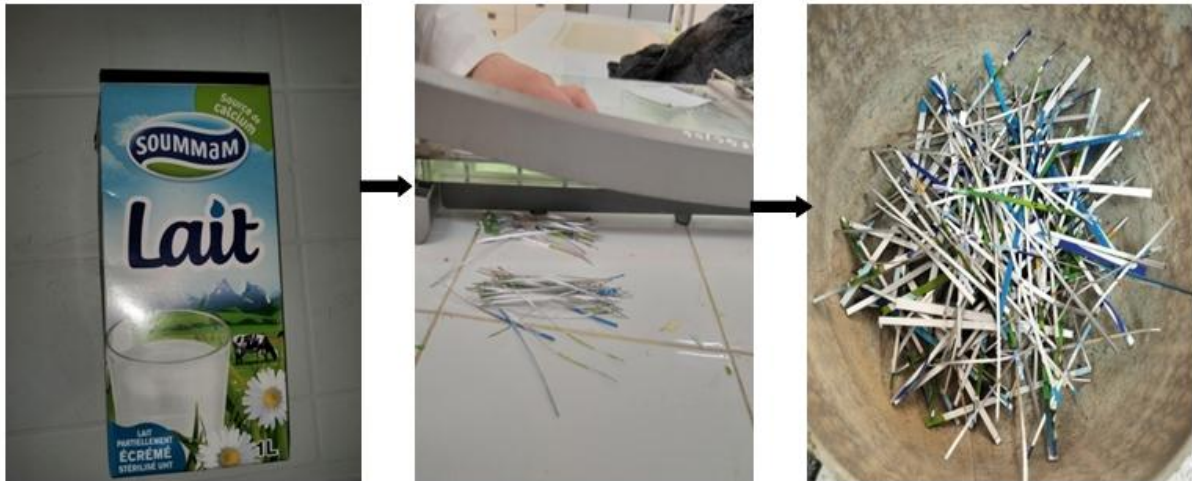


Figure II.11 : Procédure d'obtention des fibres de carton.

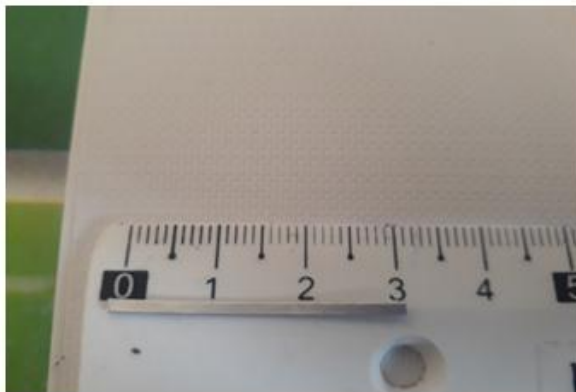


Figure II.12 : Fibre de 3 cm.

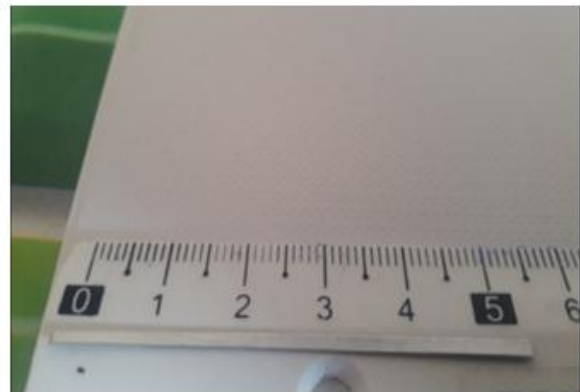


Figure II.13 : Fibre de 5 cm.

### II.4.Méthodologie de fabrication des éprouvettes

Dans le cadre de notre étude, deux types de mortiers ont été préparés : un mortier témoin sans ajout de fibres et un mortier renforcé par des fibres de carton recyclé. Les deux formulations ont été réalisées selon le même rapport granulométrique, afin d'assurer une comparaison fiable entre les performances mécaniques.

Le mortier témoin est composé d'un mélange classique de ciment, de sable et d'eau, conformément aux normes en vigueur. Aucun ajout de fibres ou d'autres adjuvants n'a été effectué pour cette formulation.

Pour le mortier renforcé, les fibres de carton, préparées au préalable (comme décrit dans la section précédente), ont été ajoutées directement au mélange sec (ciment + sable), Les fibres

## **CHAPITRE II : Caractérisation des matériaux et confection des mortiers**

ont été ajoutées en pourcentage défini par rapport en volume du liant, et réparties de manière homogène dans le mélange afin de garantir une bonne dispersion dans la matrice cimentaire.

Après homogénéisation complète, les deux types de mortier ont été coulés dans des moules normalisés de dimensions 4×4×16 cm. Une vibration a été effectuée pour éliminer les bulles d'air et assurer une bonne densité. Les éprouvettes ainsi moulées ont été conservées pendant 24 heures à température ambiante, puis démoulées et immergées dans l'eau pour la cure pendant 28 jours, conformément aux recommandations standards pour les essais mécaniques.

### **II.4.1.Mortier témoin**

#### ➤ **Matériel utilisé**

- Un malaxeur à deux vitesses : lente et rapide
- une balance précise au gramme, de portée au moins égale à 10kg.
- des bacs
- Table vibrante.



**Figure. II .14. :** La table vibrante



**Figure II.15.** Le malaxeur.

### ➤ Mode opératoire

L'eau est introduite en premier dans la cuve du malaxeur pour humidification, suivie immédiatement par le ciment. Le malaxeur est ensuite mis en marche à vitesse lente. Après 30 secondes, le sable est ajouté progressivement sur une durée de 30 secondes supplémentaires. Une fois le sable entièrement incorporé, la vitesse du malaxeur est augmentée pour atteindre la vitesse rapide, et le malaxage se poursuit pendant 30 secondes.

Le malaxeur est ensuite arrêté pendant 1 minute 30 secondes. Durant les 15 premières secondes, le mortier adhérent aux parois et au fond de la cuve est raclé et recentré à l'aide d'une spatule. Enfin, le malaxage reprend à grande vitesse pendant 60 secondes pour obtenir un mélange homogène, prêt à être utilisé pour les essais.



**Figure II.16.** Le Moule utilisé.

## CHAPITRE II : Caractérisation des matériaux et confection des mortiers

**Tableau II.10.** Dosage des constituants du mortier témoin pour 1 m<sup>3</sup> (dimensions 4×4×16 cm).

Mortier	Volume de l'éprouvette (cm <sup>3</sup> )	Sable (g)	Ciment (g)	Eau (g)
Témoin	256	1350	450	174



**Figure II.17 :** Préparation du mortier témoin.

### II.4.2 Mortier de fibre (carton)

La seule différence réside dans l'introduction des fibres de carton. Celles-ci sont ajoutées à la fin du premier cycle de malaxage, juste après l'incorporation complète du sable. Elles sont introduites de manière progressive dans la cuve, puis le malaxage se poursuit selon la même séquence que celle appliquée au mortier témoin. Cette étape permet une bonne dispersion des fibres dans la matrice cimentaire, garantissant ainsi l'homogénéité du mélange avant le moulage. La composition des différents pourcentages est donnée dans le tableau (II.11) et les quantités de fibres utilisées dans le tableau (III.12)

**Tableau II.11.** Masse des fibres.

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

## CHAPITRE II : Caractérisation des matériaux et confection des mortiers

**Tableau II.12.** Dosage des composants du mortier renforcé selon différents taux d'incorporation de fibre de carton (pour trois éprouvettes 4\*4\*16 cm)

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	206.77
	Éprouvette 2				
	Éprouvette 3				
Gâchage 2	Éprouvette 1	0.5%	1237.82	412.64	206.33
	Éprouvette 2				
	Éprouvette 3				
Gâchage 3	Éprouvette 1	0.75%	1234.82	410.61	205.8
	Éprouvette 2				
	Éprouvette 3				
Gâchage 4	Éprouvette 1	1%	1231.72	410.57	205.3
	Éprouvette 2				
	Éprouvette 3				
Gâchage 5	Éprouvette 1	1.25%	1228.61	409.5	204.8
	Éprouvette 2				
	Éprouvette 3				
gâchage 6	Éprouvette 1	1.5%	1225.5	408.5	204.25
	Éprouvette 2				
	Éprouvette 3				



Figure II.18 : Préparation du mortier de fibre.

Après huilage préalable des moules de dimensions  $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$  pour en assurer le démoulage aisé, le mélange de mortier y est versé et mis en place.

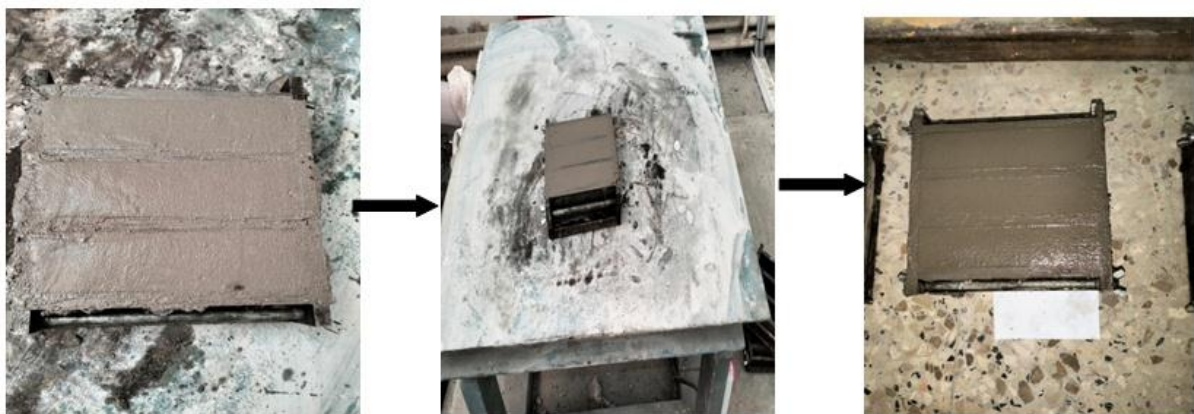


Figure II.19 : Mise en œuvre et moulage des éprouvettes.

### II.5. Conservation des éprouvettes

Une fois le mortier coulé et la surface supérieure des moules nivelée, les éprouvettes sont conservées dans le laboratoire pendant 24 heures. Afin de limiter l'évaporation de l'eau, les moules sont recouverts d'un sac plastique. Après cette période de repos, les éprouvettes sont démoulées puis placées dans un bac à eau, où elles sont maintenues en cure pendant 28 jours.



**Figure II.20 :** Conservation des éprouvettes dans l'eau.

### II.6. Les essais mécanique réalisés

Dans le cadre de la modélisation expérimentale, des essais de flexion et de compression ont été réalisés à l'aide de la machine d'essai IBERTEST, qui offre une grande précision dans l'application des charges et la mesure des déformations. Cette machine a permis d'appliquer des efforts contrôlés sur les échantillons, garantissant ainsi la fiabilité des données recueillies. Lors de l'essai de flexion, la charge a été augmentée progressivement jusqu'à atteindre la rupture ou la limite élastique du matériau, ce qui a permis de déterminer sa résistance et sa rigidité en flexion. Pour l'essai de compression, la machine a mesuré la capacité du matériau à supporter des charges axiales importantes avant défaillance. L'utilisation de la machine IBERTEST dans notre cadre a donc été essentielle pour obtenir des résultats précis et reproductibles, contribuant ainsi à une meilleure compréhension du comportement mécanique des matériaux étudiés.



**Figure II.21:** Machine Ibertest.



**Figure II.22 :** Essai de flexion.



**Figure II.23 :** Essai de compression.

### **II.7.Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons posé les bases de notre étude en présentant les matériaux sélectionnés ainsi que leurs principales propriétés. Nous avons défini les formulations en faisant varier deux paramètres essentiels: la longueur et le pourcentage des fibres. L'ensemble des matériaux a été identifié et caractérisé, et nous avons également décrit le programme expérimental mis en place, en précisant le type d'éprouvettes utilisé et les conditions de conservation adoptées.

## **Chapitre III**

---

### **Résultats et interprétations**

## **CHAPITRE III : Résultats et Interprétations**

---

### **III.1.Introduction**

Dans ce chapitre, le comportement mécanique des mortiers a été étudié. Les différentes formulations ont été réalisées en faisant varier deux paramètres : la longueur des fibres et leur taux d'incorporation. Les mortiers renforcés ont ensuite été caractérisés par des essais de flexion en trois points et de compression. Ce chapitre présente une synthèse des résultats relatifs aux propriétés mécaniques, notamment la résistance à la traction en flexion et la résistance à la compression. Pour chaque variante de mortier, les courbes force-déplacement correspondantes sont également exposées et analysées de manière comparative.

### **III.2.Comportement en flexion trois points des mortiers avec fibres de carton**

Dans cette partie, nous avons analysé le comportement de toutes les variantes de mortiers soumis à la flexion trois points. Le but est de comparer leur comportement mécanique à celui des mortiers classiques sans fibres, afin d'évaluer si l'ajout de fibres améliore leur performance.

Une fois que toutes les éprouvettes ont été correctement durcies, les essais ont été réalisés en laboratoire. Les échantillons, de forme prismatique (4×4×16 cm), sont placés sur deux appuis et soumis à une charge progressive au centre à l'aide d'une presse hydraulique de type IBERTEST, commandée par ordinateur. Cette machine permet de contrôler précisément la charge appliquée jusqu'à la rupture du matériau.

L'objectif est d'observer la résistance du mortier à la flexion, mais aussi de voir comment il se comporte après l'apparition des fissures. L'ajout de fibres de carton est censé limiter l'ouverture des fissures et améliorer la tenue du mortier après la fissuration. Les résultats permettent donc de mieux comprendre si les fibres jouent un rôle bénéfique en termes de rigidité, de résistance.

Avant de soumettre les différents spécimens aux essais de flexion et de compression, nous avons pesé toutes les éprouvettes jusqu'à stabilisation des masses, comme indiqué dans le tableau ci-dessous.

## CHAPITRE III : Résultats et Interprétations



**Figure III.1 :** Éprouvette soumise à la traction par flexion trois points.

**Tableau III.1:** Résistance à la flexion des différentes formulations de mortiers.

% Mortier	MT	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
Resistance de MFC-3 (Mpa)	5.351	6.322	6.831	7.101	7.234	6.750	6.918
Resistance de MFC-5 (Mpa)	5.351	5.984	7.227	6.281	6.113	6.022	5.998

MT : Désigne mortier témoin.

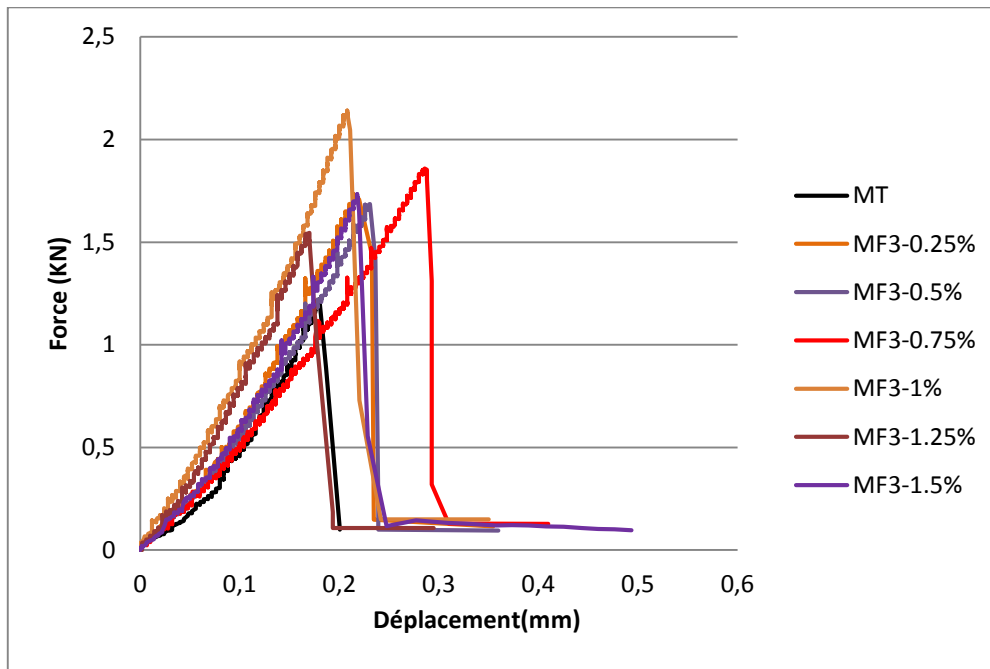
MF-3 : Désigne un mortier à base de fibres de carton avec une longueur de la fibre de 3 cm.

MF-5: Désigne un mortier à base de fibres de carton avec une longueur de la fibre de 5 cm.

### III .3.Influence du pourcentage de fibres

## CHAPITRE III : Résultats et Interprétations

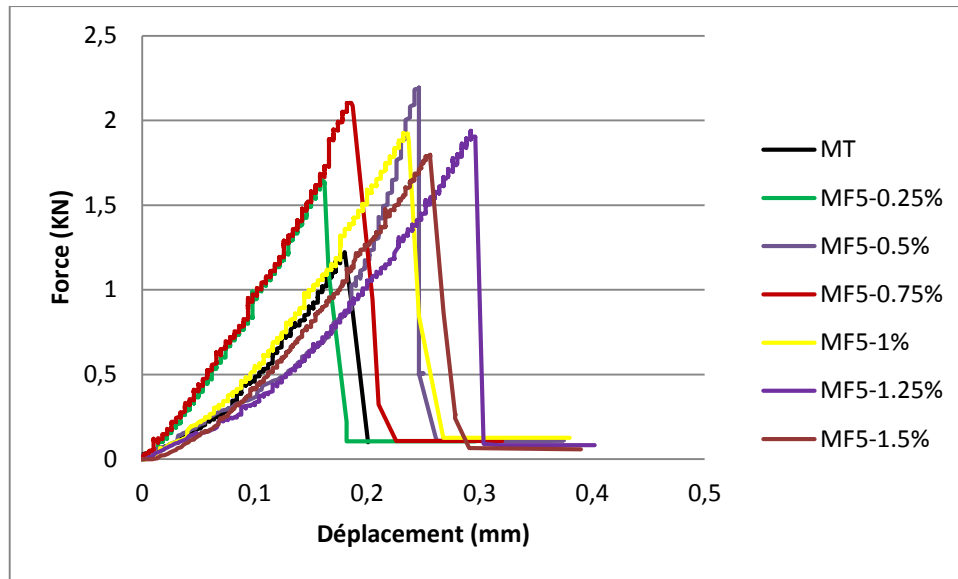
Dans cette section, le pourcentage de fibres de carton est pris en considération pour évaluer quantitativement l'apport des fibres proposées sur les propriétés mécaniques des mortiers, à partir des résultats de flexion représentés par des courbes force-déplacement. A la suite des essais de flexion, les résultats obtenus sont présentés ci-après, sous forme de courbes représentant l'évolution de la force en fonction du déplacement, permettant d'analyser le comportement mécanique des différents échantillons.



**Figure III.2 :** Courbe force-déplacement en flexion des mortiers (MF3).

### ➤ Observation

Toutes les courbes des mortiers fibrés (MF3-0,25% à MF3-1,5%) montrent une performance mécanique supérieure à celle du mortier témoin (MT). En particulier, elles atteignent des valeurs de force maximales plus élevées que MT, ce qui indique une meilleure résistance à la flexion. De plus, certaines formulations comme MF3-1% ou MF3-1,25% montrent aussi une déformation plus importante après la charge maximale, traduisant un comportement plus ductile que le mortier témoin, qui présente une rupture plus fragile et soudaine.



**Figure III.3 :** Courbe force-déplacement en flexion des mortiers (MF5).

### ➤ Observation

Toutes les courbes des mortiers fibrés (MF5-0.25% à MF5-1.5%) sont supérieures à celle du mortier témoin (MT). Elles montrent une résistance plus élevée, atteignant des forces maximales plus importantes que le MT. Cela indique clairement que l'ajout de fibres améliore les performances mécaniques du mortier, contrairement au MT qui présente la force la plus faible et un comportement plus fragile.

### III .4. Influence de la longueur de fibres

Les courbes force-déplacement ci-dessous sont présentées pour évaluer l'influence de la longueur des fibres incorporées dans les mortiers étudiés.

## CHAPITRE III : Résultats et Interprétations

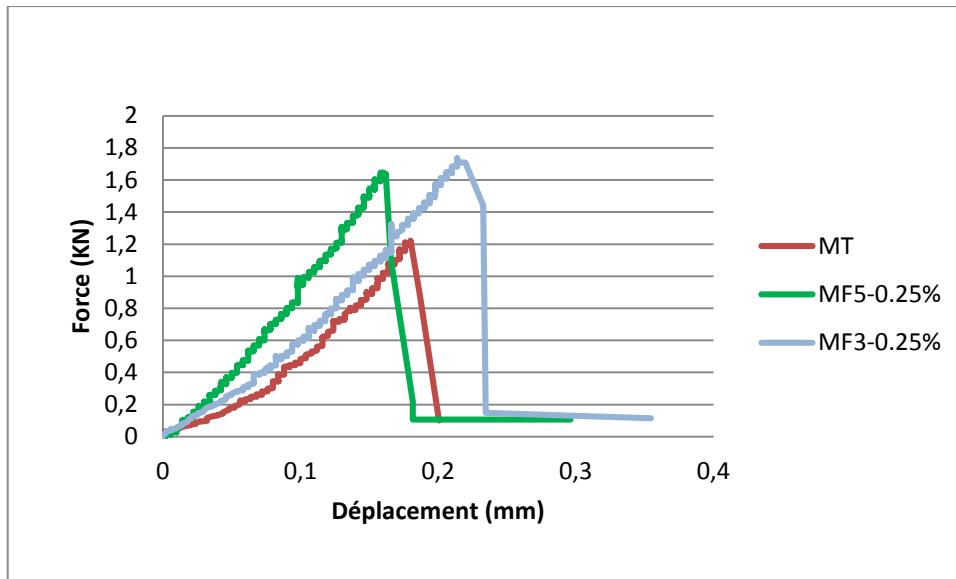


Figure III.4 : Courbe force-déplacement en flexion des mortiers à 0.25% en fibres.

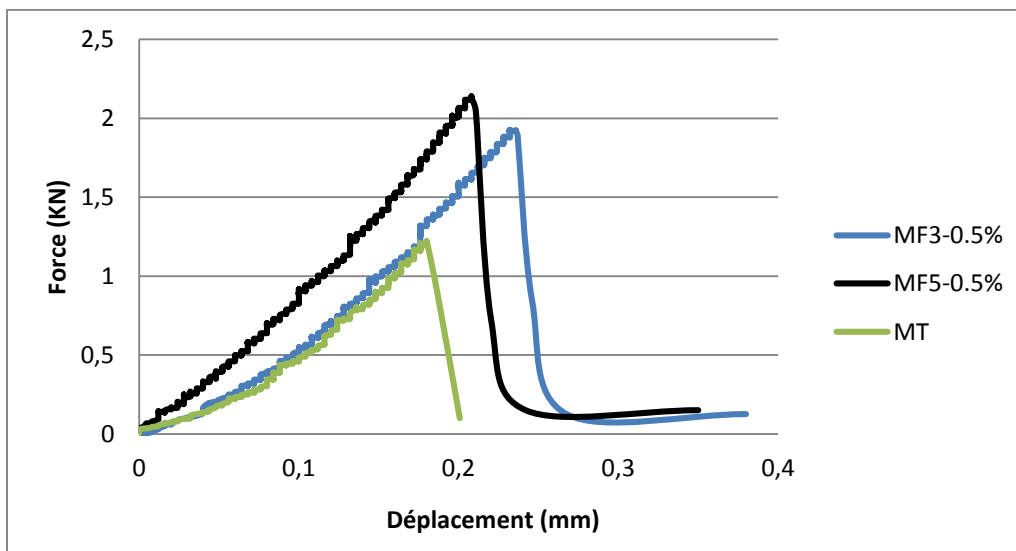


Figure III.5 : Courbe force-déplacement en flexion des mortiers à 0.5% en fibres.

## CHAPITRE III : Résultats et Interprétations

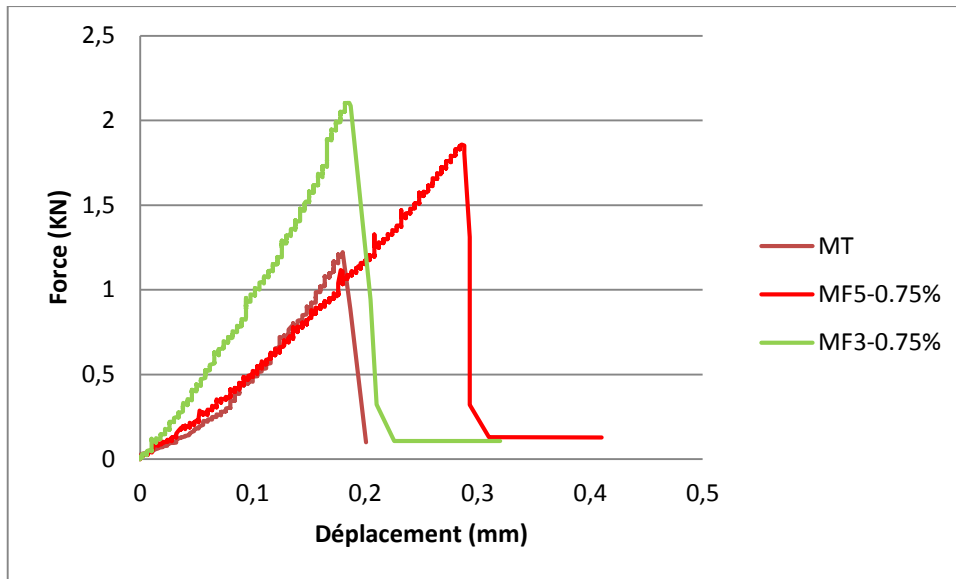


Figure III.6 : Courbe force-déplacement en flexion des mortiers à 0.75% en fibres.

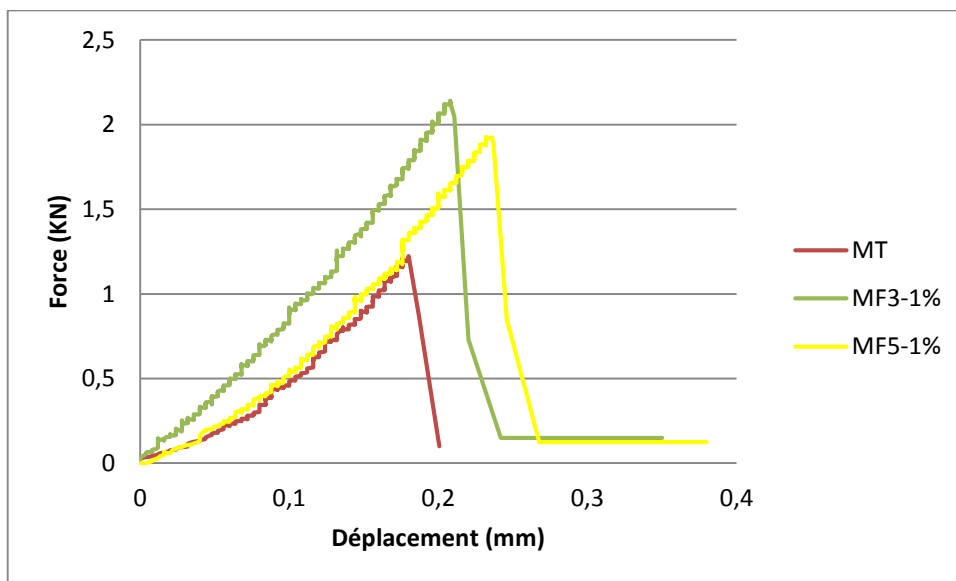
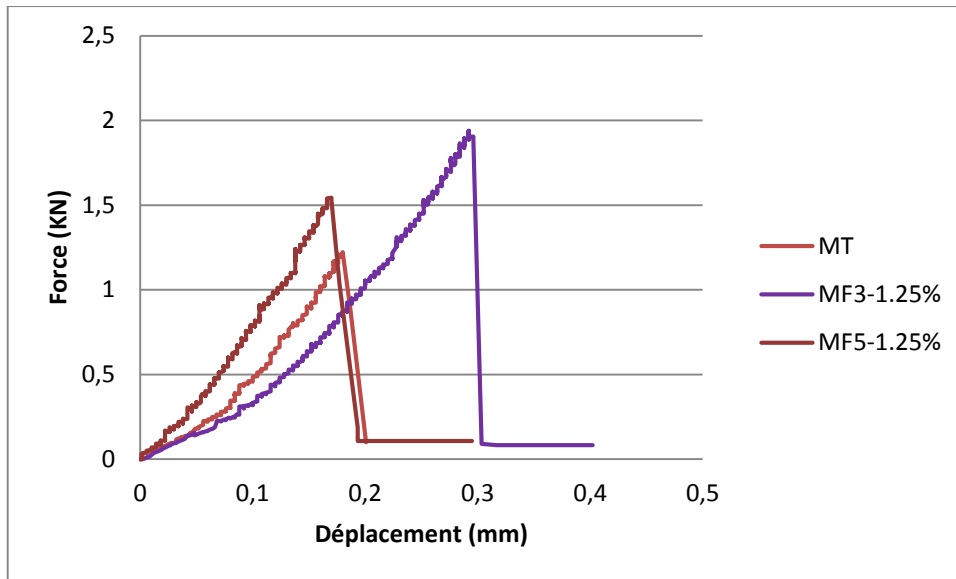
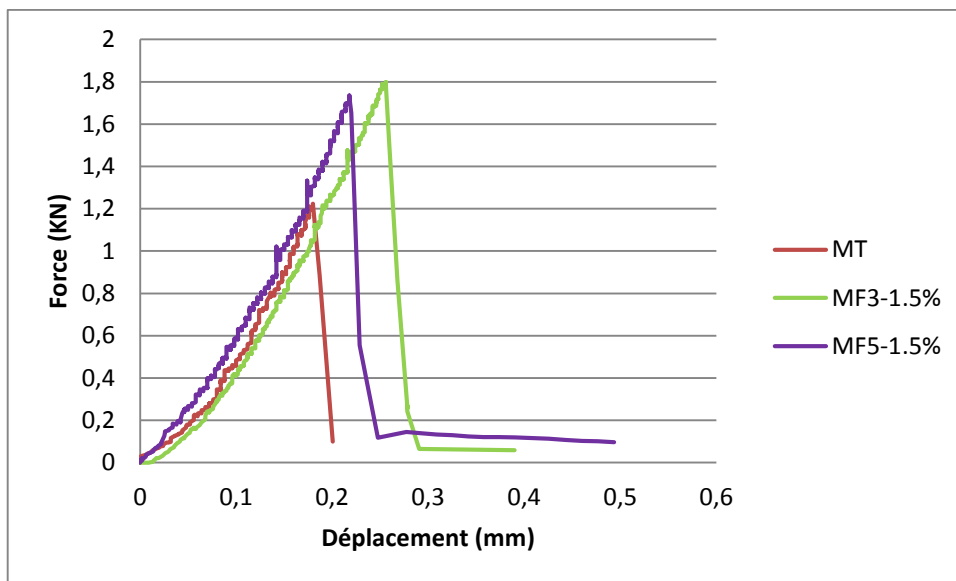


Figure III.7 : Courbe force-déplacement en flexion des mortiers à 1% en fibres.

## CHAPITRE III : Résultats et Interprétations



**Figure III.8 :** Courbe force-déplacement en flexion des mortiers à 1.25% en fibres.



**Figure III.9 :** Courbe force-déplacement en flexion des mortiers à 1.5% en fibres.


### ➤ Observation

L'ensemble des formulations fibrées (MF3 et MF5), quels que soient le type ou le pourcentage de fibres utilisées, présentent une amélioration significative des performances mécaniques par rapport au mortier témoin (MT). Dans tous les cas, les courbes des mortiers fibrés atteignent des valeurs de force maximales supérieures à celle du MT, traduisant une meilleure résistance à la flexion. De plus, certaines formulations montrent un comportement plus ductile, avec une

## CHAPITRE III : Résultats et Interprétations

descente post-pic plus progressive, contrairement au MT qui présente une rupture brutale. Ces résultats confirment l'effet bénéfique de l'incorporation de fibres dans le mortier, notamment en termes de résistance et de capacité d'absorption d'énergie.

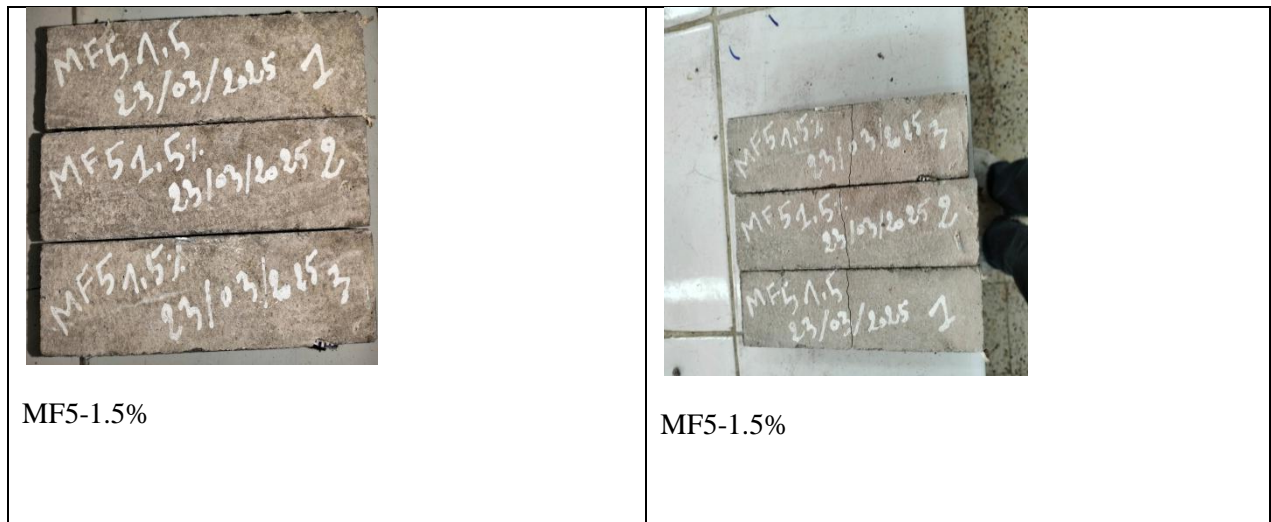
**Tableau III.2 :** Mode de rupture des spécimens sous l'effet de la flexion 3 points.

Les éprouvettes avant l'essai mécanique		Les éprouvettes après l'essai mécanique	
			
MT	MF3-0.25%	MT	MF3-0.25%
			
MF3-0.5%	MF3-0.75%	MF3-0.5%	MF3-0.75%
			
MF3-1%	MF3-1.25%	MF3-1%	MF3-1.25%

# CHAPITRE III : Résultats et Interprétations



## CHAPITRE III : Résultats et Interprétations



### ➤ Observation

- ✓ Toutes les éprouvettes montrent une fissure nette en partie centrale, caractéristique d'une rupture en flexion simple.
- ✓ La fissure semble se situer dans la zone tendue de la poutre, ce qui correspond à un mode de rupture normal en flexion trois points.
- ✓ Aucune rupture en cisaillement ni éclatement latéral n'est observé, ce qui indique que :
  - L'essai a été correctement réalisé.
  - La rupture s'est produite de manière fragile et directe, typique du béton non armé soumis à flexion.

### III.5. Comportement des mortiers en compression

Dans la seconde partie de ce travail, un essai de compression a été réalisé afin d'évaluer la résistance mécanique des mortiers testés. Les éprouvettes utilisées pour cet essai sont de dimensions standards 4×4 cm, conformément aux normes en vigueur. L'essai a été effectué à l'aide de la machine de compression Ibertest, permettant une application progressive de la charge jusqu'à la rupture. Cet essai vise principalement à déterminer la résistance à la compression des mortiers, qu'ils soient témoins ou renforcés par des fibres de carton, et à comparer les résultats obtenus pour mieux comprendre l'impact de l'ajout de fibres sur le comportement mécanique global du matériau.

## CHAPITRE III : Résultats et Interprétations

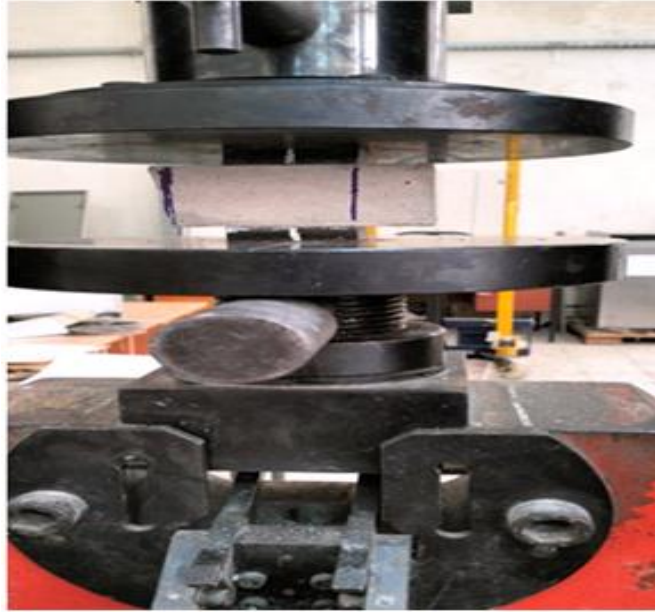


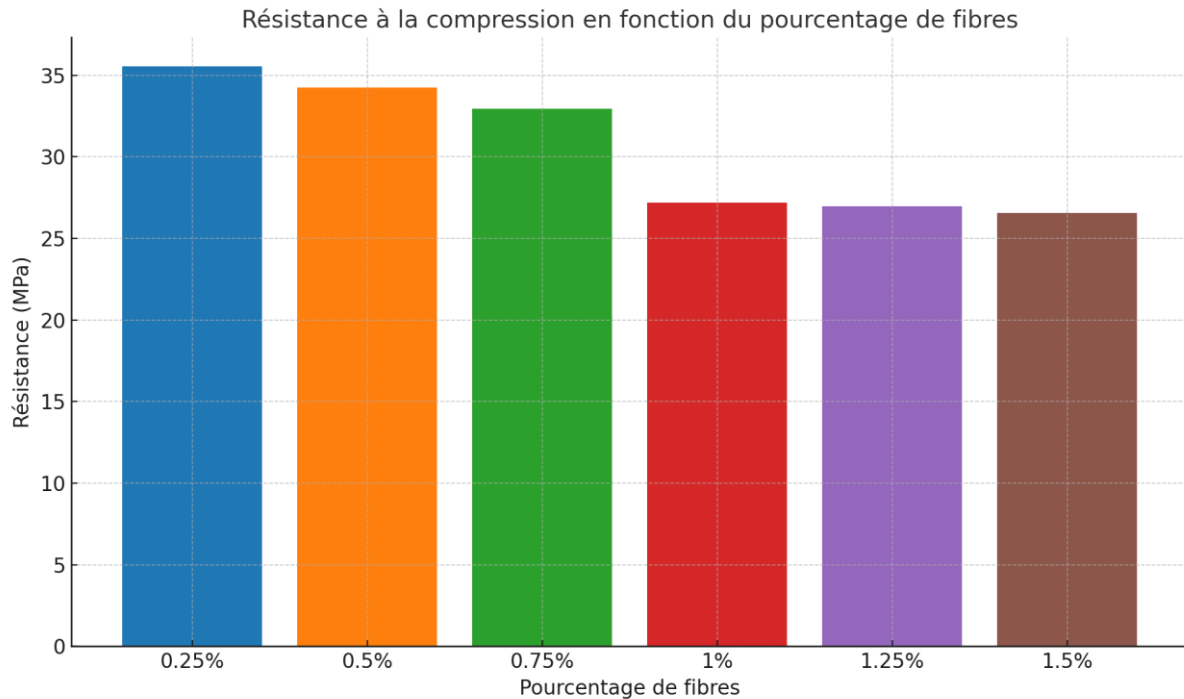
Figure III.10: Éprouvette soumise à la compression.

Tableau III.3: Résistance à la compression des différentes formulations de mortiers.

%	MT	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
Mortier							
Resistance de MFC-3 (Mpa)	40.28	35.54	34.25	32.96	27.18	26.98	26.55
Resistance de MFC-5 (Mpa)	40.28	35.60	34.77	32.12	30.04	29.78	28.38

L'histogramme suivante présente l'évolution des résistances en compression des mortiers non renforcés et renforcés de fibres de carton en utilisant deux longueurs de fibres (MF3) et (MF5) et six pourcentages en fibres (0.25%, 0.50%, 0.75%, 1%, 1.25% et 1.50%).

## CHAPITRE III : Résultats et Interprétations

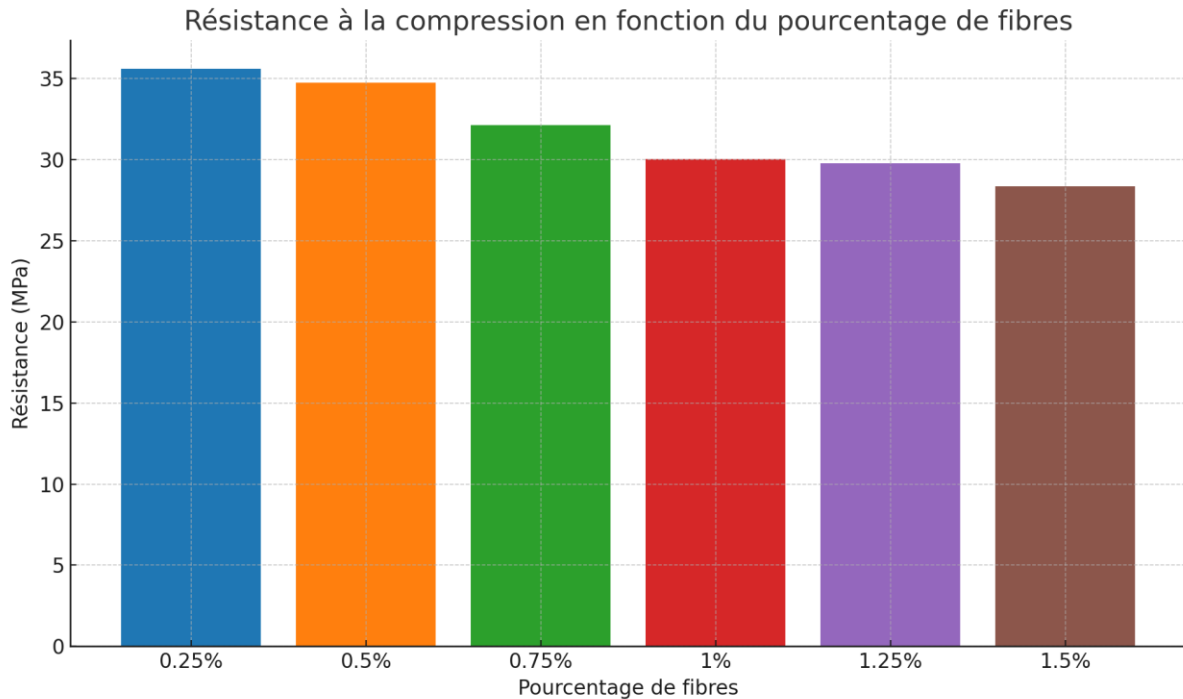


**Figure III.12:** Résistance en compression des mortiers renforcés en fibre de 3 cm.

### ➤ Observation

Le graphique montre l'évolution de la résistance à la compression en fonction du pourcentage de fibres incorporées. On observe que la résistance diminue progressivement au fur et à mesure que la quantité de fibres augmente. À 0,25 % de fibres, la résistance est maximale, atteignant environ 35,5 MPa. Ensuite, une baisse continue est constatée, passant par 34 MPa à 0,5 %, puis 33 MPa à 0,75 %, jusqu'à atteindre environ 26,5 MPa à 1,5 %. Cette tendance suggère qu'un ajout modéré de fibres peut contribuer à améliorer la résistance en limitant la fissuration, mais qu'un excès de fibres dégrade les propriétés mécaniques du matériau, possiblement en affectant la compacité ou la cohésion du mélange.

## CHAPITRE III : Résultats et Interprétations

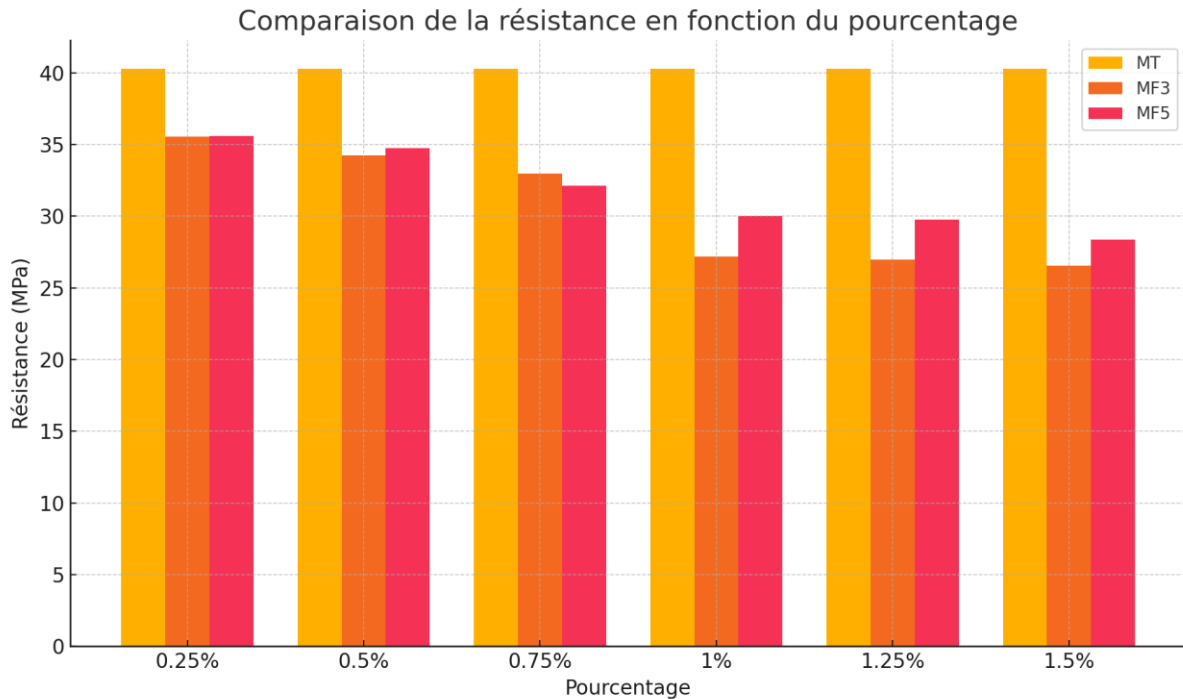


**Figure III.13:** Résistance en compression des mortiers renforcés en fibre de 5cm.

### ➤ Observation

Le graphique ci-dessus présente la résistance à la compression en fonction du pourcentage de fibres ajoutées au matériau. Il en ressort une tendance claire comme dans le cas des mortiers de fibres de 3cm: la résistance diminue progressivement au fur et à mesure que le pourcentage de fibres augmente. La résistance maximale est atteinte avec 0,25 % de fibres, affichant environ 35,60 MPa, tandis que la valeur minimale, 28,38 MPa, est observée à 1,5 % de fibres. Cette diminution indique que l'ajout de fibres à faible pourcentage peut légèrement améliorer les propriétés mécaniques, mais qu'un excès de fibres nuit à la compacité et à la cohésion du matériau, entraînant une baisse de performance. Il est donc essentiel de trouver un dosage optimal pour bénéficier des avantages des fibres sans compromettre la résistance à la compression.

## CHAPITRE III : Résultats et Interprétations



**Figure III.14** : comparaison de la résistance entre mortiers renforcés et mortier témoin.

### ➤ Observation

Comparativement au matériau témoin (MT), qui présente une résistance de l'ordre de 40.28 MPa, l'ajout de MF3 et MF5 entraîne une diminution progressive des performances mécaniques comme indiqué dans la littérature. Dès 0.25% d'ajout, la résistance chute à 35.54 MPa pour MF3 et 35.60 MPa pour MF5, soit une perte d'environ 12% par rapport à MT. Cette baisse devient plus prononcée avec l'augmentation du pourcentage d'ajout : à 1%, la résistance atteint seulement 27.18 MPa pour MF3 (soit une diminution de 32.5%) et 30.04 MPa pour MF5 (environ 25.4% de perte). À 1.5%, la baisse est encore plus marquée, atteignant 26.55 MPa pour MF3 (-34.1%) et 28.38 MPa pour MF5 (-29.5%). Globalement, MT conserve une résistance nettement supérieure dans toutes les conditions testées, confirmant que l'introduction de MF3 ou MF5 affaiblit significativement la résistance à la compression, avec un effet légèrement moins sévère pour MF.

### III.5.Conclusion

En conclusion, les résultats montrent que l'ajout de fibres de carton dans le mortier n'apporte pas de gain significatif en termes de résistance à la compression par rapport au mortier témoin

## **CHAPITRE III : Résultats et Interprétations**

---

(MT). Au contraire, on observe une diminution progressive de la résistance au fur et à mesure que le taux de fibres augmente. Cette tendance est en accord avec la littérature, qui indique que l'intégration de fibres cellulosiques ou végétales, comme celles issues du carton, ne contribue généralement pas à améliorer la résistance à la compression du béton ou du mortier. En revanche, plusieurs études soulignent que ces fibres peuvent améliorer le comportement en flexion en apportant une certaine ductilité au matériau. Ainsi, même si l'intérêt en compression reste limité, l'ajout de fibres de carton pourrait s'avérer bénéfique dans des applications où le comportement en flexion ou l'absorption d'énergie est recherché.

---

---

**Conclusion général**

## Conclusion général

---

### Conclusion général

En conclusion, ce travail a permis de démontrer l'impact de l'ajout de fibres végétales, en l'occurrence des fibres de carton, sur les propriétés mécaniques du mortier. Les résultats expérimentaux ont montré que l'incorporation de ces fibres améliore significativement la résistance à la flexion du mortier, en particulier à des pourcentages de fibres compris entre 0,25 % et 1,25 %, tout en apportant une légère amélioration de la ductilité post-fissuration. Cependant, l'ajout de fibres décline l'amélioration dans le comportement en compression, un résultat qui rejoint les observations faites par d'autres auteurs dans des études similaires.

L'analyse des résultats a également permis de souligner l'importance de la longueur des fibres. Les fibres de 3 cm ont montré des performances supérieures à celles de 5 cm, probablement en raison d'une meilleure dispersion dans la matrice cimentaire. Il est donc essentiel de trouver un équilibre optimal dans le choix du pourcentage et de la longueur des fibres pour maximiser les avantages mécaniques sans nuire à la maniabilité du mortier.

En dépit des améliorations observées en flexion, la résistance en compression, bien qu'acceptable, n'a pas bénéficié de manière significative de l'ajout des fibres, ce qui suggère que d'autres ajustements, tels que l'utilisation d'additifs ou de traitements spécifiques des fibres, pourraient être nécessaires pour améliorer davantage la performance des mortiers renforcés.

Les perspectives de cette étude sont nombreuses et méritent d'être approfondies. Il serait pertinent de mener des recherches sur les interactions aux interfaces entre les fibres de carton et la matrice cimentaire, ainsi que sur les implications technico-économiques de l'utilisation de fibres naturelles dans la construction. D'autres investigations pourraient explorer l'effet de pourcentages plus élevés de fibres, ainsi que l'association de différents types de fibres pour optimiser les performances du mortier. Le traitement des fibres avant leur incorporation pourrait également constituer une voie d'amélioration des propriétés mécaniques du matériau.

En définitive, cette étude ouvre la voie à des applications pratiques pour des mortiers plus durables et respectueux de l'environnement, tout en renforçant la résistance des matériaux de construction grâce à l'utilisation de déchets recyclés.

---

## **Référence bibliographiques**

## Références bibliographiques

---

### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] **MOKHTAR.N** «comportement mécanique d'un mortier de ciment a base de fibre végétale», (Mémoire de Master), .université de Mouloud Mammeri Année universitaire 2020/2021.

[2]**HEMIL .S et NOUGARIA.A** « effet combiné des billes du polystyrène et les fibres plastique sur les mortiers au ciment blanc », **thèse** de magister en génie civil, université Mohamed Boudiaf M'SILA (2018) ,99p

[3] **ABBASSI.M et ABBA.KH**« étude des propriétés mécaniques d'un mortier à base de verre recyclé », (Mémoire de Master), université de KASDI MERBAH de Ouargla, Année universitaire 2019/2020.

[4] **BAGHDAD.KH et BELKHAMSA.KH**« étude du comportement mécanique des mortiers a base de la fumée de silice et renforcée par des fibres polymère», (Mémoire de Master), université de IBN KHALDOUN de Tiaret, Année universitaire 2019/2020.

[5]**YETTOU.A et MAMMERI.O** « effet des additions minérales sur la durabilité des bétons» », (Mémoire de Master), université SAAD DAHLEB Blida.

[6] **FETNI.F et GOUBLI.H**« contribution à l'étude des caractéristiques mécaniques des mortiers renforcées par les fibres de polypropylène issues des déchets industriels», (Mémoire de Master), université Kasdi Merbah Ourgla Année universitaire 2018/2019.

[7] **EZZIANE.M et JAUBERTHIE.R** «comportement mécanique des mortiers fibres et des températures élevées», (article scientifique), Affiliés à l'université de Mostaganem 27000, Algérie et laboratoire INSA –université Européenne de Bretagne 35043-Rennes Cedex, France.

[8]**JURKIEWIEZ.B et LARBLA.A** « Evolution of the punching strength of mortar subjected to fire », (article scientifique), Affiliés à l'université de Lyon INSA-Lyon, LGCIE en France, publié en 2012.

[9] **NFDTU26.1P1-1** : Norme officielles française.

[10] **R.LANCHON** (Ingénieure, professeur technique) «cour de laboratoire granulats béton sols.

[11] **Sadok Hadriche.M** «Modélisation du comportement du béton auto plaçant : effet de la compression », (mémoire de maitrise), université de Sherbrooke (Québec), canada, décembre 1998.

[12] **Normes françaises (NF P 18-598 ou NF EN 933-8)** pour la mesure de l'équivalent de sable.