



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



## **Université Amar Thelidji- Laghouat**

**FACULTE: GENIE CIVIL ET D'ARCHITECTURE**

**DEPARTEMENT : GENIE CIVIL**

### **MEMOIRE DE MASTER**

**Présenté par : Beyaz Mohammed Laid et Afghoul Walid**

**DOMAINE : Sciences et Technologies**

**FILIERE : Génie Civil**

**OPTION : Matériaux en Génie Civil**

### **Thème**

**Caractérisation physico-mécanique et thermique du mortier de plâtre recyclé renforcé par des fibres synthétiques**

#### **Jury de soutenance :**

<b>Nom et Prénom</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>
Mr.Bouziani Tayeb	<b>Pr</b>	Président
Mme Koudri Zohra	<b>MAA</b>	Examinateur
Mme Bendjillali Khadra	<b>MCA</b>	Promotrice
Melle Djoudi Amina	<b>MCA</b>	Co-Promotrice

**Promotion: Septembre – 2022**

## *Dédicace*

**Je dédie ce modeste travail :**

*A celle qui à veiller sur moi pendant toujours, ma chère Maman,*

*A mon très cher père,*

*A toute ma famille, mes frères, mes sœurs,*

*A tous mes amis,*

*A mon binôme Walid,*

*A tous les enseignants du département de Génie Civil.*

**BEYAZ Mohammed Laid**

## *Dédicace*

**Je dédie ce modeste travail :**

**A** celle qui à veiller sur moi pendant toujours, ma **chère Maman,**

**A** mon très **cher père,**

**A** mes *frères*

**A** *toute ma famille.*

**A** *toute mes collègues,*

**A** *mon binôme Mohammed Laid*

**A** *tous les enseignants du département de génie civil.*

**A** *toute la promotion de Génie Civil.*

**Afghoul Walid**

## Remerciements

**N**ous commençons par remercier le dieu tout Puissant, de nous avoir donné le courage et l'optimisme d'achever notre travail.

**N**ous tenons à remercier nos promotrices, Mme **Bendjillali Khadra** et Melle **Djoudi Amina**, pour leurs conseils, leurs orientations et leurs disponibilités durant la réalisation de ce travail.

**N**ous tenons également à adresser nos vifs remerciements à **Monsieur le Professeur Bouziani Tayeb**, pour le grand honneur qu'il nous a fait en présidant le jury de soutenance.

**N**os vifs grands remerciements et notre sincère gratitude à Mme **Kouidri Zohra**, pour avoir accepté d'évaluer notre travail et d'avoir accepté de faire partie de notre jury de mémoire.

**N**os remerciements à l'ensemble des enseignants du département de Génie Civil, pour tous les efforts qui ont fait pour bien mener notre formation et aux personnels de notre laboratoire.

**N**os remerciements vont aussi à Melle **Akeb Ahlem**, Doctorante à l'université de Bejaïa et à Melle **Bendjilali Fatiha**, Doctorante à l'université de Chlef pour leur contribution à réaliser nos essais expérimentaux.

## **Résumé**

L'objectif de notre travail est la valorisation du déchet de plâtre pour la fabrication d'un nouveau matériau de construction économique, écologique, performant et facile à mettre en œuvre. Le déchet de plâtre utilisé est collecté d'un chantier de réalisation de logements promotionnels, à la ville de Laghouat. Ce déchet est utilisé dans les mortiers à base de sable dunaire, en substituant le plâtre commercialisé, par 10, 20, 30, 40 et 50 %. Des fibres synthétiques de polypropylène sont employées à raison de 1 et 2 % du poids total du liant, comme un renforcement de ces mortiers. Des essais mécaniques (flexion et compression) à 7 et à 28 jours d'âge sont réalisées sur toutes les compositions de mortiers avec un suivi journalier jusqu'à 28 jours de leur retrait. Les propriétés thermiques des mortiers de plâtre sont aussi mesurées. Les résultats obtenus indiquent que la substitution du plâtre par le plâtre recyclé a conduit à une diminution de la résistance mécanique des mortiers, notamment la résistance à la flexion et que par l'addition de fibres synthétiques, ces résistances sont améliorées. Le plâtre recyclé a diminué significativement le retrait des mortiers, mais la présence de fibres l'a augmenté. En plus l'effet du plâtre recyclé ainsi que l'effet des fibres sont positifs sur l'isolation thermique des mortiers

## Table des matières

<b>Dédicace</b> .....	i
<b>Dédicace</b> .....	ii
<b>Remerciement</b> .....	iii
<b>Résumé</b> .....	iv
<b>Table des matières</b> .....	v
<b>Liste des figures</b> .....	viii
<b>Liste des tableaux</b> .....	x
<b>Introduction générale</b> .....	2

### *Chapitre I : Revue documentaire sur le plâtre: Matériau composite et Recyclage*

I.1	Introduction .....	5
I.2	Plâtre .....	5
I.2.1	Gypse.....	6
a.	Le gypse naturel.....	6
b.	Le gypse de synthèse .....	7
I.2.2	Propriétés du plâtre semi hydrate .....	7
I.2.3	Fabrication du plâtre.....	8
I.2.4	Utilisations du plâtre .....	9
I.2.5	Propriétés physico-mécaniques du plâtre .....	10
I.3	Composite Plâtre/Fibres .....	13
I.3.1	La matrice.....	14
I.3.2	Le renfort.....	14
I.3.3	Composites à base de plâtre .....	17
I.4	Recyclage.....	18
I.4.1	Origine de la production de déchets .....	18

I.4.2	Tonnages de déchets de plâtre.....	19
I.4.3	Valorisation de déchets à base de plâtre.....	19
I.5	Conclusion .....	20

## ***Chapitre II : Identification des Matériaux et Méthodes Expérimentales***

II.1	Introduction.....	22
II.2	Identification des matériaux utilisés .....	22
II.2.1	Plâtre.....	22
II.2.2	Plâtre recyclé .....	26
II.2.3	Fibres .....	30
II.2.4	Sable de dunes .....	31
II.2.5	Chaux .....	33
II.2.6	Eau de gâchage.....	33
II.3	Formulation de mortiers de plâtre.....	34
II.3.1	Malaxage et mise en œuvre du mortier de plâtre .....	35
II.3.2	Conditions de conservation .....	36
II.4	Essais mécaniques .....	36
II.4.1	Essai de flexion .....	37
II.4.2	Essai de compression .....	38
II.5	Mesure de retrait .....	38
II.6	Mesure des propriétés thermiques .....	39
II.6.1.	Conductivité thermique .....	40
II.6.2.	Chaleur spécifique.....	40
II.6.3.	Méthodes de mesure des paramètres thermiques .....	40
II.6.4.	Protocole expérimental de la technique de la sonde à chocs.....	40
II.7	Conclusion .....	41

## *Chapitre III : Résultats et Interprétations*

III. 1	Introduction .....	43
III. 2	Etude des propriétés mécaniques.....	43
III. 3	Etude du retrait .....	55
III. 4	Etude des propriétés thermiques.....	60
III.4.1.	Conductivité thermique .....	61
III.4.2.	Chaleur spécifique.....	67
III. 5	Conclusions .....	68
 <b>Conclusion générale.....</b>		<b>71</b>
 <b>Références.....</b>		<b>74</b>
 <b>Annexes.....</b>		<b>81</b>

## Liste des figures

### *Chapitre I : Revue documentaire sur le plâtre: Matériau composite et*

#### *Recyclage*

<b>Figure. I.1:</b> Différents systèmes de cristallisation du gypse .....	6
<b>Figure. I.2:</b> Image prise au MEB de forme d'hémi hydrate $\beta$ et $\alpha$ .....	8
<b>Figure. I.3:</b> Evolution de la densité et du pourcentage des vides avec E/P .....	11
<b>Figure. I.4:</b> Structure d'un matériau composite .....	14
<b>Figure. I.5:</b> Type de renfort .....	15
<b>Figure. I.6:</b> Renforts utilisés avec la matrice plâtre .....	15
<b>Figure. I.7:</b> Disposition unidirectionnelle .....	16
<b>Figure. I.8:</b> Disposition bidirectionnelle .....	16
<b>Figure. I.9:</b> Distribution des renforts dans la matrice .....	17

### *Chapitre II : Identification des Matériaux et Méthodes Expérimentales*

<b>Figure. II.1:</b> Sac du plâtre employé.....	22
<b>Figure. II.2:</b> Diffractogramme du plâtre utilisé.....	23
<b>Figure. II.3:</b> Détermination de temps de pris par appareil de Vicat .....	25
<b>Figure. II.4:</b> Déchet de plâtre employé .....	26
<b>Figure. II.5:</b> Sacs de plâtre "KNAUF MP 75" .....	26
<b>Figure. II.6:</b> Les étapes de traitement du déchet de plâtre .....	28
<b>Figure. II.7:</b> Fibres de polypropylène employées .....	29
<b>Figure. II.8:</b> Sable de dunes employé .....	30
<b>Figure. II.9:</b> Courbe granulométrique du sable de dune .....	31
<b>Figure. II.10:</b> Sac de la chaux aérienne utilisée .....	32
<b>Figure. II.11:</b> Eprouvettes $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ de mortier de plâtre .....	35
<b>Figure. II.12:</b> Conservation des éprouvettes de mortier de plâtre au laboratoire.....	35
<b>Figure. II.13:</b> Appareillage d'essais mécaniques.....	36
<b>Figure. II.14:</b> Essai de flexion à trois points .....	36
<b>Figure. II.15:</b> Essai de compression .....	37
<b>Figure. II.16:</b> Moules pour l'essai de retrait .....	38
<b>Figure. II.17:</b> Mesure de retrait.....	38
<b>Figure. II.18:</b> Dispositif de mesure de conductivité thermique .....	40
<b>Figure. II.19:</b> Mesure la conductivité thermique .....	40

### *Chapitre III : Résultats et Interprétations*

<b>Figure. III.1:</b> Variation de la résistance à la flexion des mortiers à 7 et à 28 j d'âge .....	43
<b>Figure. III.2:</b> Résistance à la flexion des mortiers sans fibres .....	44
<b>Figure. III.3:</b> Résistance à la flexion des mortiers renforcés par 1 % de fibres.....	44
<b>Figure. III.4:</b> Résistance à la flexion des mortiers renforcés par 2 % de fibres.....	45
<b>Figure. III.5:</b> Résistance à la flexion des mortiers témoins sans plâtre recyclé.....	46
<b>Figure. III.6:</b> Résistance à la flexion de mortier MP10 avec et sans fibres .....	47
<b>Figure. III.7:</b> Résistance à la flexion de mortier MP20 avec et sans fibres .....	47
<b>Figure. III.8:</b> Résistance à la flexion de mortier MP30 avec et sans fibres .....	48
<b>Figure. III.9:</b> Résistance à la flexion de mortier MP40 avec et sans fibres .....	48
<b>Figure. III.10:</b> Résistance à la flexion de mortier MP50 avec et sans fibres .....	49
<b>Figure. III.11:</b> Variation de la résistance à la compression des mortiers à 7 et à 28 j d'âge .....	50
<b>Figure. III.12:</b> Résistance à la compression des mortiers sans fibres .....	50
<b>Figure. III.13:</b> Résistance à la compression des mortiers renforcés par 1 % de fibres.....	51
<b>Figure. III.14:</b> Résistance à la compression des mortiers renforcés par 2 % de fibres.....	51
<b>Figure. III.15:</b> Résistance à la compression des mortiers témoins sans plâtre recyclé.....	52
<b>Figure. III.16:</b> Résistance à la compression de mortier MP10 avec et sans fibres .....	53
<b>Figure. III.17:</b> Résistance à la compression de mortier MP20 avec et sans fibres .....	53
<b>Figure. III.18:</b> Résistance à la compression de mortier MP30 avec et sans fibres .....	54
<b>Figure. III.19:</b> Résistance à la compression de mortier MP40 avec et sans fibres .....	54
<b>Figure. III.20:</b> Résistance à la compression de mortier MP50 avec et sans fibres .....	55
<b>Figure. III.22:</b> Variation du retrait en fonction d'âge pour les mortiers sans fibres.....	56
<b>Figure. III.23:</b> Variation du retrait pour les mortiers du plâtre avec 1 % de fibres .....	56
<b>Figure. III.24:</b> Variation du retrait pour mortier du plâtre avec 2 % de fibres .....	57
<b>Figure. III.25:</b> Variation du retrait en fonction de l'âge pour les mortiers témoins .....	58
<b>Figure. III.26:</b> Variation du retrait pour le mortier MP10 avec et sans fibres .....	58
<b>Figure. III.27:</b> Variation du retrait pour le mortier MP20 avec et sans fibres .....	59
<b>Figure. III.28:</b> Variation du retrait pour le mortier MP30 avec et sans fibres .....	59
<b>Figure. III.29:</b> Variation du retrait pour le mortier MP40 avec et sans fibres .....	60
<b>Figure. III.30:</b> Variation du retrait pour le mortier MP50 avec et sans fibres .....	60
<b>Figure. III.31:</b> Variation de la conductivité thermique des mortiers de plâtre .....	62
<b>Figure. III.32:</b> Variation de la conductivité thermique des compositions sans fibres .....	63
<b>Figure. III.33:</b> Variation de la conductivité thermique des compositions avec 1 % fibres .....	63
<b>Figure. III.34:</b> Variation de la conductivité thermique des compositions avec 2 % fibres .....	64
<b>Figure. III.35:</b> Variation de la conductivité thermique des mortiers témoins.....	65
<b>Figure. III.36:</b> Variation de la conductivité thermique de la composition MP <sub>10</sub> avec et sans fibres.....	65
<b>Figure. III.37:</b> Variation de la conductivité thermique de la composition MP <sub>20</sub> avec et sans fibres.....	66

<b>Figure. III.38:</b> Variation de la conductivité thermique de la composition MP <sub>30</sub> avec et sans fibres.....	66
<b>Figure. III.39:</b> Variation de la conductivité thermique de la composition MP <sub>40</sub> avec et sans fibres.....	67
<b>Figure. III.40:</b> Variation de la chaleur spécifique des mortiers de plâtre .....	67

## Liste des tableaux

### *Chapitre I : Revue documentaire sur le plâtre: Matériau composite et Recyclage*

<b>Tableau</b> Erreur ! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document.. <b>1:</b> Caractéristiques des semi-hydrates $\alpha$ et $\beta$ .....	8
<b>Tableau</b> Erreur ! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document.. <b>2:</b> Masse volumique absolue des différents produits.....	11
<b>Tableau</b> Erreur ! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document.. <b>3:</b> Densité apparente des différents plâtres. ....	12

### *Chapitre II : Identification des Matériaux et Méthodes Expérimentales*

<b>Tableau</b> Erreur ! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document.. <b>1:</b> Analyse chimique du plâtre .....	22
<b>Tableau</b> Erreur ! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document.. <b>2:</b> Valeurs de la finesse du plâtre utilisé.....	24
<b>Tableau</b> Erreur ! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document.. <b>3:</b> Finesse de plâtres de construction selon la norme NFB 12-401.....	24
<b>Tableau</b> Erreur ! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document.. <b>4:</b> Propriétés du plâtre employé.....	26
<b>Tableau</b> Erreur ! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document.. <b>5:</b> Valeurs de la finesse du plâtre recyclé .....	28
<b>Tableau</b> Erreur ! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document.. <b>6:</b> Propriétés du plâtre recyclé.....	29
<b>Tableau</b> Erreur ! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document.. <b>7:</b> Caractéristiques des fibres employées.....	30
<b>Tableau</b> Erreur ! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document.. <b>8:</b> Résultats de l'analyse granulométrique du sable de dunes utilisé.....	31
<b>Tableau</b> Erreur ! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document.. <b>9:</b> Propriétés physiques du sable de dunes utilisé.....	31
<b>Tableau</b> Erreur ! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document.. <b>10:</b> Analyse chimique de la chaux aérienne utilisée.....	32
<b>Tableau</b> Erreur ! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document.. <b>11:</b> Formulations de mortiers de plâtre.....	33
<b>Tableau</b> Erreur ! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document.. <b>12:</b> Variation de température et d'humidité pendant les mesures de retrait.....	38
<b>Tableau</b> Erreur ! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document.. <b>13:</b> Conductivité thermiques des plâtres.....	39

### *Chapitre III : Résultats et Interprétations*

**Tableau Erreur ! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document.I.1:**  
Variation des propriétés thermiques pour les différentes compositions .....61

# Introduction générale

## Introduction générale

Les déchets de construction sont le plus souvent mis en décharge, seule une petite partie peut être traitée. Une quantité limitée de déchets de construction est déjà réutilisée comme matériau pour la construction, en tant que matière première secondaire. Elle est aussi employée comme matériau de base pour l'aménagement de routes. La législation à venir obligera véritablement les industriels à recycler le plus possible tous leurs déchets, et à les transformer en matière première réutilisable primaire ou secondaire. De nouveaux procédés doivent être développés par le secteur de l'industrie. Réutiliser ou recycler les déchets doit devenir une habitude nécessaire quand cela est possible.

Le plâtre est un matériau de construction, constitué de gypse (roche naturelle) ayant subi un processus de broyage et de cuisson. Le plâtre est un matériau totalement et indéfiniment recyclable : une fois sec, il retrouve les caractéristiques du gypse et peut être recuit et préfabriqué indéfiniment, à condition que les déchets de plâtre soient correctement triés et ne contiennent pas trop d'additifs.

Le recyclage des déchets de plâtre est une voie qui est utilisée depuis longtemps dans certains pays, qui ont interdit le stockage des déchets de plâtre dans les centres d'enfouissement pour éviter les nuisances olfactives. En Europe, le Danemark a anticipé la transposition des directives permettant à une société locale de développer une technologie de recyclage mobile

En Algérie, pays en cours de développement, il n'existe pas une vraie politique de recyclage de déchet surtout le déchet plâtre bien qu'on fait face à un problème de d'épuisement de ressources naturelles et que ce matériaux présente d'excellentes propriétés d'isolation thermique et phoniques, ce matériau présente un grand pouvoir hygrométrique à l'intérieur des maisons ainsi qu'une bonne résistance au feu. Pour la sécurité, la santé, l'esthétisme, la performance, le confort, dans le cadre de tout projet de construction du plus simple au plus complexe le plâtre est toujours la solution idéale.

Pour des enjeux économiques et environnementaux le recyclage du plâtre est sans doute la bonne solution. Par ce travail on va faire une petite contribution dans le cadre d'études réalisées sur le recyclage de se matériaux, pour cela on a procédé au recyclage de plâtre par leur triage et traitement ensuite leurs traitement afin de voir si notre plâtre va récupérer ses propriétés liantes ensuite, différents essais de caractérisation sont réalisés.

Le manuscrit qui débute par une introduction générale, s'étale sur trois principaux chapitres:

- Le premier chapitre se subdivise en trois parties:
  - La première partie comporte des généralités sur le plâtre;
  - La deuxième partie est consacrée à l'exposition de définitions et des propriétés des composites;
  - La troisième partie donne une revue historique sur le recyclage, en particulier le recyclage du plâtre;
  
- Le deuxième chapitre décrit le protocole de notre travail, ainsi que les différentes méthodes expérimentales utilisées pour la caractérisation des matériaux.
  
- Le dernier chapitre est consacré aux résultats obtenus et à leurs interprétations.

Le manuscrit est clôturé par une conclusion générale et quelques perspectives.

# **Chapitre I:**

**Revue documentaire sur le  
plâtre: Matériau composite  
et Recyclage**

## I.1 Introduction

Le plâtre est l'un des plus anciens matériaux de construction utilisé par l'homme. Malgré son emploi quotidien, les constructeurs ne connaissent pas toujours ses divers aspects et toutes les possibilités de ses applications. Dans le présent chapitre, nous exposons des notions générales sur cet ancien matériau, à savoir son origine, ses différentes propriétés et domaines d'emploi. Un aperçu général sur les matériaux composites est donné aussi dans ce chapitre. Le recyclage est ses différents aspects et stratégies, principalement le recyclage du plâtre est exposé à la fin de la présente partie de mémoire.

## I.2 Plâtre

Avec la chaux et la terre cuite, le plâtre est l'un des plus anciens matériaux de construction, ça remontent à presque 9000 ans. L'abondance du gypse naturel dans la nature, la faible température nécessaire à la production du plâtre justifient son emploi très ancien. La grande pyramide de Kéops est un exemple des premières utilisations du plâtre en construction pour l'assemblage des blocs de pierres. La généralisation de l'emploi du plâtre est liée à un édit de Louis XIV promulgué en 1667, faisait suite à l'incendie de Londres, le plâtre étant déjà connu pour sa résistance au feu, imposant l'utilisation d'un enduit de plâtre dans les maisons à ossature de bois. Le plâtre est actuellement utilisé soit directement en enduit, ou en éléments préfabriqués, tels que des carreaux ou des plaques, où une couche de plâtre est mise entre deux cartons. Grâce à ses propriétés d'isolation thermique et acoustique et sa résistance au feu le plâtre est bien adapté aux utilisations intérieures. La conductivité thermique d'un enduit de plâtre est de l'ordre de  $0.26 \text{ Wm}^{-1}\text{C}^{-1}$ , contre  $1.15 \text{ Wm}^{-1}\text{C}^{-1}$  pour un enduit de ciment et  $50 \text{ Wm}^{-1}\text{C}^{-1}$  pour de l'acier (Meile, 2001). Ces qualités sont justifiées par la très grande porosité du matériau et par la présence de l'eau de structure, qui est presque 20 %. Il est bien connu que le plâtre se débarrasse de l'eau sous la chaleur, stabilisant ainsi la température murale à des valeurs inférieures à  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  (Jaffel, 2006). Une couche de plâtre de 10 mm d'épaisseur représente une réserve d'eau de 1.4 litres, qui va se dégager, en limitant ainsi la progression du feu, sans aucun dégagement de gaz toxiques ou de fumées (Meile, 2001).

## I.2.1 Gypse

Le gypse qui n'est que de sulfate de calcium di-hydraté de formule chimique  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  est considéré comme le composant de base dans la fabrication industrielle des plâtres. Il existe les gypses naturels et les gypses synthétiques:

### a. Le gypse naturel

Le gypse fait parti de la famille des évaporites, qui sont les roches sédimentaires les plus solubles dans l'eau, il résulte de l'évaporation de l'eau des lagunes marines sursaturées. Les gisements les plus importants datent de la première, secondaire ou tertiaire. Le gypse se trouve en énormes quantités dans la nature, de nombreux gisements en France, au Mexique, en Espagne, ...etc.

Le gypse se cristallise dans le système monoclinique, à l'échelle moléculaire, il présente une structure feuilletée, une couche d'eau avec deux couches de sulfate de calcium. Les principales variétés rencontrées dans la nature sont sous forme macro cristallisée: le gypse lamellaire, le fer de lance, le gypse lenticulaire ou sous forme micro cristallisée, l'albâtre le gypse fibreux, le gypse saccharoïde et le gypse éolien (Martias, 2011).



**Figure I.1.** Différents systèmes de cristallisation du gypse (Martias, 2011).

## **b. Le gypse de synthèse**

Le gypse de synthèse est le produit d'une réaction chimique industrielle, dont les principales sources du gypse chimique sont:

- La fabrication de l'acide phosphorique (phosphogypse) par attaque du phosphate naturel.
- La fabrication d'autres acides minéraux (acide borique: brogypse, acide fluorhydrique: fluor gypse) ou organique: Organo-gypse (acide citrique, tartrique, etc ...).
- La fabrication de l'oxyde de titane ( $\text{TiO}_2$ ) conduit également à une production du gypse appelé Titano-gypse.
- La désulfuration des gaz et des fumées: l'oxydation de l'anhydride sulfureux  $\text{SO}_2$  (énanhydride sulfurique) puis sa réaction avec de la chaux, produit un gypse appelé Désulfo-gypse (Ebanda, 2012).

## **I.2.2 Propriétés du plâtre semi hydrate**

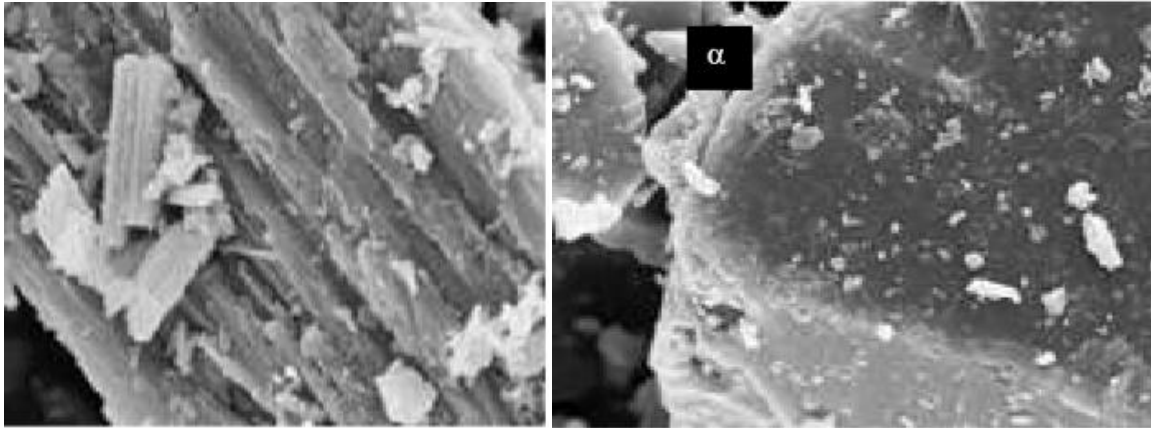
### **a. Les semi-hydrates $\alpha$**

Ils se caractérisent comme suit:

- Ils sont compacts et cristallins.
- Ils possèdent une grande résistance mécanique.
- Leur solubilité dans l'eau est inférieure à celle du composé  $\beta$ .
- Leur temps de prise est inférieur à celle des semi hydrate  $\beta$ .
- Le contact avec l'eau donne un mélange fluide.
- Des constituants de très haute qualité, utilisés en particulier, comme plâtre dentaire.

### **b. Les semi-hydrates $\beta$**

Ils sont floconneux et présentent des fissures écailleuses (Dorbani, 2004).



**Figure I.2.** Image prise au MEB de forme d'hémi hydrate  $\beta$  et  $\alpha$  (Dorbani, 2004).

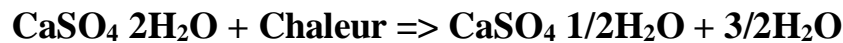
**Tableau I.1:** Caractéristiques des semi-hydrates  $\alpha$  et  $\beta$  (Daligang, 2002).

Caractéristiques	Semi-hydrate $\alpha$	Semi-hydrate $\beta$
Système cristallin	<b>Rhomboédrique</b>	
Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	<b>2.76 10<sup>3</sup></b>	<b>2.63 10<sup>3</sup></b>
Teneur en eau (%)	<b>6.20</b>	<b>6.20</b>
Masse molaire (g/mol)	<b>145.15</b>	<b>145.15</b>
Volume molaire (cm <sup>3</sup> /mol)	<b>52.4</b>	<b>55.2</b>
Temps de prise (min)	<b>15 - 20</b>	<b>25 - 35</b>
Expansion (mm/m)	<b>2.8</b>	<b>1.6</b>
Résistance à la traction à sec (MPa)	<b>6.5</b>	<b>1.3</b>
Solubilité dans l'eau à 20 °C	<b>0.63</b>	<b>0.74</b>

### I.2.3 Fabrication du plâtre

- a. **L'abattage:** l'abattage des blocs en grandes dimensions, en carrière à ciel ouvert.
- b. **Le concassage:** permet de réduire les gros blocs en morceaux de faibles dimensions.

- c. **Le séchage:** se fait dans des séchoirs cylindriques rotatifs jusqu'à une teneur en humidité de 10 %.
- d. **La cuisson:** lors de la cuisson, le gypse ou le sulfate de calcium à deux molécules d'eau se déshydrate progressivement pour donner plusieurs composants à une demi-molécule d'eau. Celui-ci est le composant essentiel de tous les plâtres; entre 105°C et 180°C, le gypse va perdre l'eau faiblement liée selon la formule ci-dessous:



Ce semi-hydrate avide d'eau va se réhydrater dans l'eau de gâchage, eau dans laquelle le plâtre est trompé et se cristalliser pour retrouver la composition chimique du gypse **CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O**.

- e. **Le stockage 1:** se fait pour le refroidissement, l'homogénéisation et le contrôle du produit.
- f. **Le broyage:** le plâtre est broyé et tamisé après sa cuisson et son refroidissement de façon à gagner des propriétés granulométriques usuelles selon les catégories de plâtre.
- g. **Le stockage 2:** se fait en lieu sec dans des silos ou sacs fermés pour éviter d'avoir des plâtres éventés (Belayachi et al., 2015).

#### I.2.4 Utilisations du plâtre

Le plâtre a des multiples utilisations, il est employé dans la réalisation des cloisons de distribution ou de séparation entre les logements, comme plafonds ou doublage des murs, car il amorti parfaitement les bruits d'impact et les bruits aériens. Les salles de cinéma, les aéroports, les studios d'enregistrement et les hôpitaux sont des lieux qui bénéficient favorablement de cette caractéristique. Le plâtre est très utilisé dans la décoration intérieure grâce à sa capacité de se mouler facilement et rapidement sur toutes les formes et à se prêter à tout type de finition. Il laisse passer la vapeur d'eau et régularise le degré d'hygrométrie dans le cas de fortes fluctuations: il absorbe l'humidité de l'air quand il fait chaud et la restitue quand il fait froid. Associé à des isolants (polystyrène expansé, laine minérale, polyuréthane) ou en présence d'une lame d'air, la plâtre permet d'assurer le confort thermique des enceintes (Kuryatnyk, 2007).

Les plâtres de construction

Il s'agit des plâtres gros ou fins, utilisés pour assembler les briques plâtrières ou pour lisser les revêtements.

**a. Les plâtres à projeter**

Il s'agit de plâtres fins et durs, destinés à la réalisation de tous les enduits intérieurs à la main ou à la machine. Des plâtres pour enduits spéciaux de très haute dureté, pour les locaux très sollicités: cages d'escalier, couloirs,...

**b. Le plâtre à modeler**

Le plâtre à modeler qui est particulièrement fins sert à la réalisation de décors, de réparations de corniche, etc. Il est utilisé par exemple, pour refaire l'angle sortant ébrécher d'un mur. On se sert aussi de plâtre à modeler dans les activités manuelles, pour le moulage de figurines ou de décors variés.

**c. Le plâtre à prise retardée**

L'addition d'un adjuvant au plâtre permet d'avoir un début de prise entre 8 et 15 minutes et une fin de prise entre 15 et 45 minutes, qui peut aller jusqu'à une heure. Ces produits sont utilisés dans les travaux de réparation difficiles, demandant beaucoup de temps ou dans les travaux de scellement, exigeant un éventuel repositionnement des éléments à fixer pendant une certaine durée. Ils sont généralement pratiqués par les amateurs manquant l'expérience.

**d. Le plâtre de surfaçage**

C'est un plâtre très fin mélangé à des adjuvants, appliqué en couche très mince après projection en enduit, afin de remédier aux défauts de surface avant les travaux de finition (Hamida, 2010).

**I.2.5 Propriétés physico-mécaniques du plâtre****a) Masse volumique absolue**

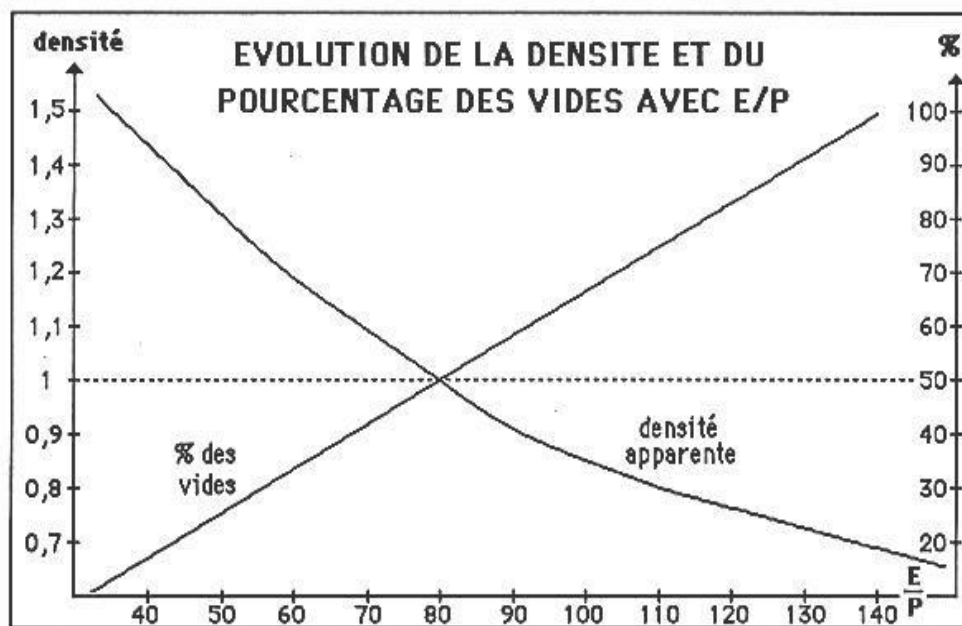
Les masses volumiques absolues des différents produits sont représentés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau I.2:** Masse volumique absolue des différents produits (Cherait, 2006).

Produit	Formule chimique	Masse volumique (g/cm <sup>3</sup> )
Gypse	<b>CaSO<sub>4</sub>, 2H<sub>2</sub>O</b>	<b>2.30</b>
Anhydrite	<b>CaSO<sub>4</sub></b>	<b>2.90</b>

### b) Densité et porosité

A l'état durci les plâtres courants présentent une densité qui décroît en fonction de l'augmentation du taux de gâchage E/P. La porosité est d'autant plus élevée que le pourcentage des vides augmente. Ce pourcentage a tendance à croître avec le taux de gâchage E/P. Ainsi plus le taux de gâchage du plâtre est important plus le pourcentage de vides présente dans le matériau à l'état durci augmente (Figure I.3).

**Figure I.3.** Evolution de la densité et du pourcentage des vides avec E/P (Mamadou, 2015).

La densité de plâtre apparente varie en fonction de la finesse de mouture et du rapport E/P. D'après Papadakis et Venuat (1970), la densité apparente diminue régulièrement lorsque la finesse du plâtre augmente en effet plus les grains sont fins plus le pourcentage du vide est important lors de remplissage d'un même volume. Le tableau I.3 donne les valeurs de la densité apparente des différents plâtres.

**Tableau I.3:** Densité apparente des différents plâtres (Sattler et Bruckner, 2001).

Catégorie du plâtre	Densité apparente (g/cm <sup>3</sup> )
Plâtre gros de construction	<b>1.00</b>
Plâtre fin de construction	<b>0.90 – 0.80</b>
Plâtre à mouler ordinaire	<b>0.60</b>
Plâtre très fin à projeter	<b>0.40</b>

### c) Prise

La prise est la réaction d'hydratation inverse à la cuisson qui se tiendra une fois le plâtre est gâché avec l'eau, elle est vive et très rapide et elle s'accompagne d'un faible dégagement de chaleur et une légère augmentation de volume due à la cristallisation très rapide, de l'ordre de 0.5 % au bout d'une heure et de 1 % en 24 heures. La prise rapide du plâtre s'oppose au retrait accompagnant le séchage, ce qui permet d'enduire rapidement et facilement toute fissuration (Costes, 1995).

Le coefficient de dilatation des plâtres est de l'ordre de 15 à 20  $\mu\text{m}/\text{m}/^\circ\text{C}$  (Tetyana, 2007) La durée de prise est celle qui correspond à la consistance pâteuse du plâtre, et donc à son temps d'emploi. Le mécanisme de la prise explique qu'elle ne soit pas instantanée, qu'elle varie avec la constitution du plâtre et qu'elle demande d'autant plus de temps que la quantité d'eau de gâchage est plus grande.

D'après les études (Sattler et Bruckner, 2001), le processus de prise et de durcissement des pâtes de plâtre est associé à deux principales variations volumiques internes opérant en opposition par rapport à l'autre:

- Une **contraction volumique** (retrait endogène), résultant du fait que le volume des produits de la réaction d'hydratation cristaux de gypses est inférieur à la somme des volumes initiaux (eau + anhydre).
- Une **expansion volumique** (gonflement de prise), résultant de la croissance progressive des cristaux de gypse au cours de la texturation des matériaux et enduisant une légère augmentation du volume externe de la pâte (Sattler et Bruckner, 2001).

Pour une utilisation pratique du plâtre dans le bâtiment ou dans l'industrie, il est nécessaire de retarder ou d'accélérer sa prise, soit par incorporation de produits au moment de son

gâchage ou par l'emploi de plâtres spéciaux. Les chlorures de Sodium (sel de cuisine NaCl), les Carbonates d'ammonium (sel ammoniac), les sulfates de Potassium ou Calcium et les Bisulfites de Sodium sont utilisés comme accélérateurs de prise. La chaux grasse à la dose de 15 g, le Borax à la dose de 20 g, le Chlorure de calcium à la dose de 10 g, les Phosphates, la gélatine, la colle et la Caséine sont utilisés comme retardateurs de prise du plâtre.

#### **d) Durcissement**

Le processus de durcissement du plâtre comporte trois phases :

- Dissolution des produits du semi-hydrate de Ca.
- L'hydratation du semi-hydrate aboutissant à la formation du double hydrate de Ca.
- Cristallisation du double hydrate.

#### **e) Résistance mécanique**

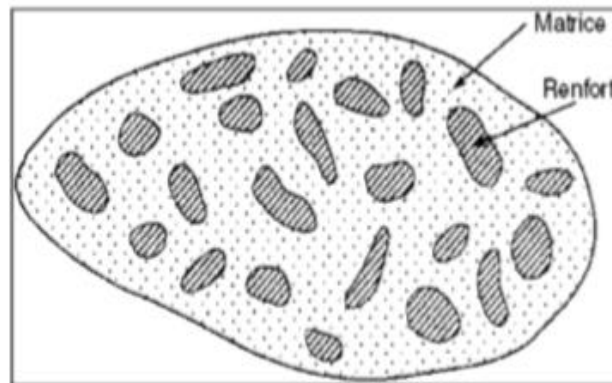
La résistance mécanique varie en fonction de plusieurs paramètres:

- La nature et finesse de plâtre,
- Taux de gâchage E/P,
- Temps de prise,
- Milieu de conservation,
- Humidité et adjuvants (augmente la durée de prise).

### **I.3 Composite Plâtre/Fibres**

Un matériau composite est composé d'au moins deux matériaux différents, dont les propriétés diffèrent des propriétés des constituants de base. Généralement il est constitué d'une ossature appelée renfort, qui assure la tenue mécanique et d'une protection appelée matrice, qui assure la cohésion de la structure et répartit les contraintes appliquées au matériau (Figure I-4). Une autre définition est donnée aux composites: un matériau composite généralement comporte une ou plusieurs phases discontinues réparties dans une phase continue. Dans le cas de plusieurs phases discontinues de natures différentes, le composite est dit hybride. La phase discontinue est habituellement plus dure avec des propriétés mécaniques supérieures à celles

de la phase continue. La phase continue est appelée la matrice. La phase discontinue est appelée le renfort ou matériau renforçant (**Ebanda, 2012**). Parmi les premières utilisations des composites, les arcs Mongols (2000 ans avant J.C., leur âme en bois était contrecollée de tendon au dos et de corne sur sa face interne). Le bois est un matériau composite naturel qui est parmi les premiers composites employé dans la construction et le torchis est le matériau composite fabriqué par l'homme à partir d'argile et de paille. (**Marzano, 2014**).



**Figure I.4.** Structure d'un matériau composite

### I.3.1 La matrice

Deux familles de matrice sont distinguées, les matrices organiques et les matrices minérales. Pour la protection contre les incendies, les matrices céramiques sont très utilisées dans le bâtiment.

### I.3.2 Le renfort

Le renfort peut être fibreux ou bien granulaire, comme schématisé sur la figure I.5. La Figure I.6 donne les renforts les plus utilisés avec la matrice plâtre (**Kassou, 2016**).

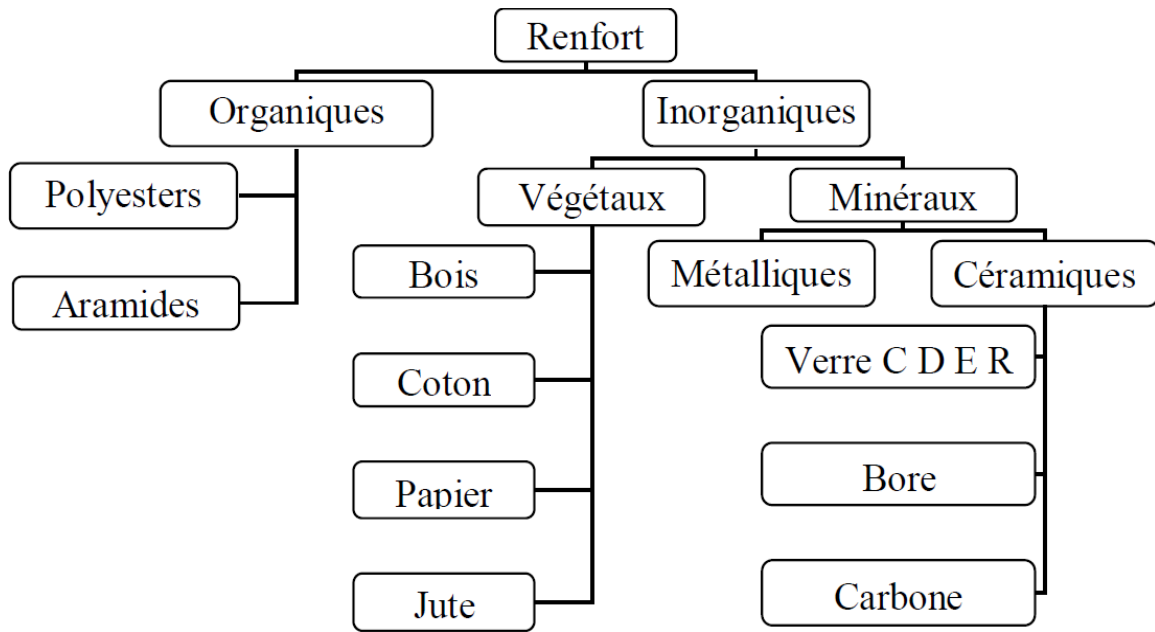


Figure I.5. Types de renforts (Gendre, 2012).

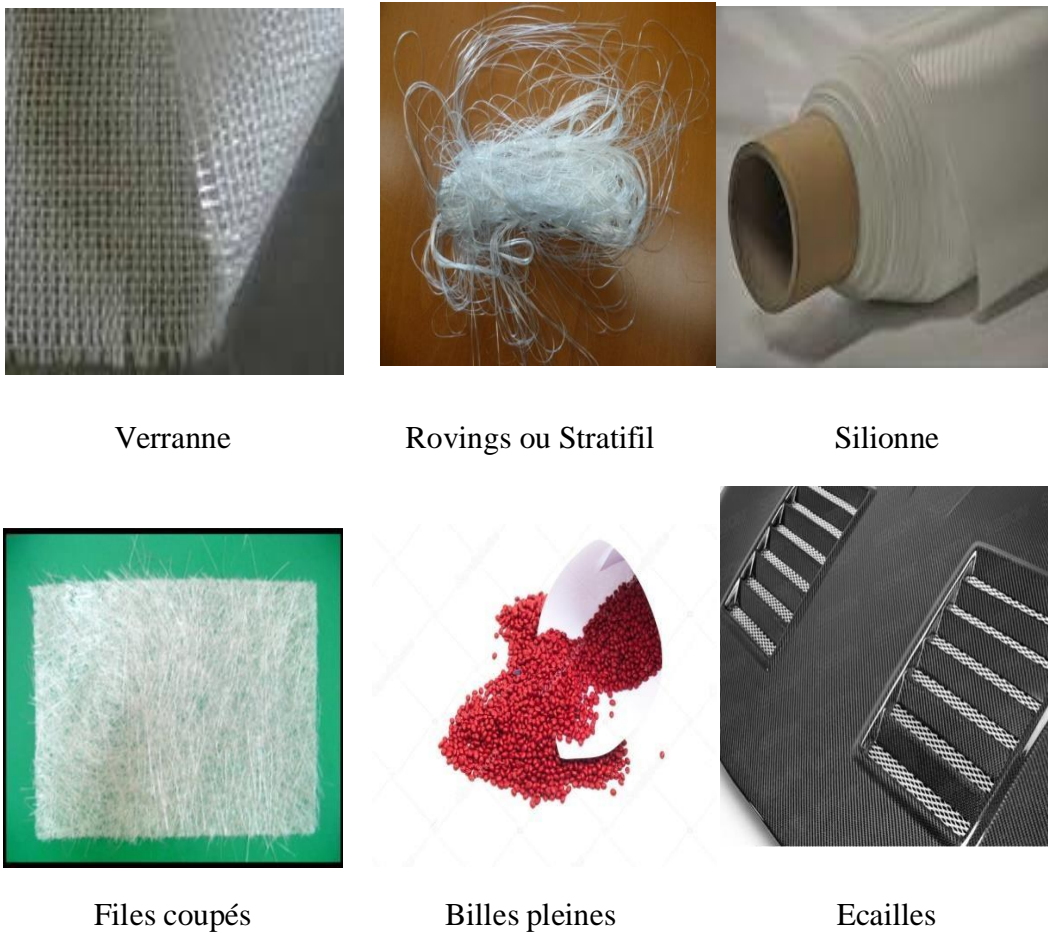
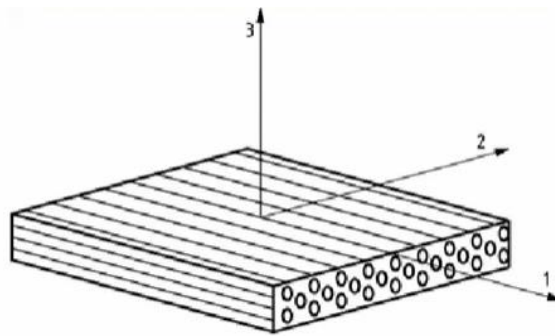


Figure I.6. Renforts utilisés avec la matrice plâtre (Kassou, 2016).

Les fibres longues se disposent dans le matériau selon une seule direction de manière libre ou dans un plan; dans ce cas, elles sont généralement tissées suivant une armure toile avec une trame légère, un composite unidirectionnel est alors obtenu. Elles peuvent être disposées suivant plusieurs directions dans un plan, elles sont alors sous forme de tissu d'armure satin, sergé ou de tissu tridimensionnel. Les plans de fibres peuvent être superposés en de nombreuses couches, le composite est alors dit stratifié. Lorsqu'elles sont courtes, les fibres sont généralement orientées de façon aléatoire. Il est rapporté que cette dernière disposition conduit à une perte d'efficacité en terme d'effet du renforcement du composite (**Belayachi et al., 2015**).

#### a. Disposition unidirectionnelle

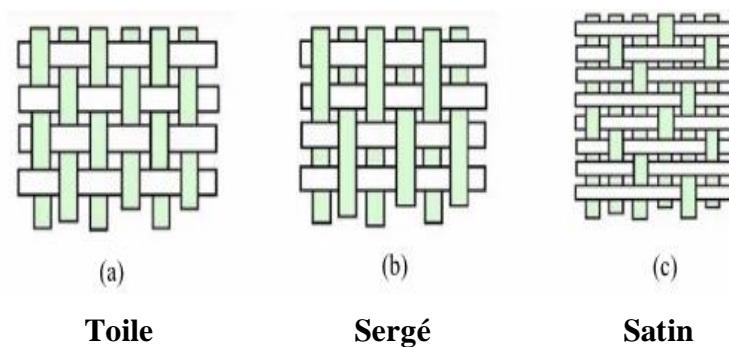
Les fibres dans cette disposition sont disposées parallèlement dans une direction bien précise (Figure I.7).



**Figure I.7.** Disposition unidirectionnelle (**Debabi et Bouduarra, 2015**).

#### b. Disposition bidirectionnelle

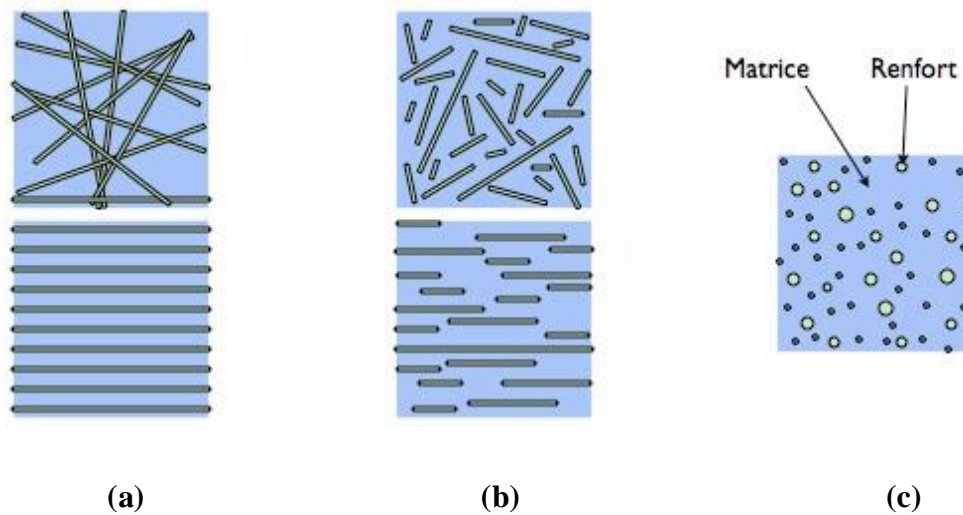
Dans ce cas, le renfort est disposé dans deux directions différentes (Figure I.8).



**Figure I.8.** Disposition bidirectionnelle (**Debabi et bouduarra, 2015**).

La figure I.9 illustre la distribution de renfort dans la matrice, dont:

- a: Les fibres longues (longueur comparable aux dimensions de la pièce;
- b: Les fibres courtes (longueur faible devant les dimensions de la pièce);
- c: Les particules ou charges renforçâtes.



**Figure I.9.** Distribution des renforts dans la matrice (Gendre, 2012).

### I.3.3 Composites à base de plâtre

Le plâtre est un matériau très fragile et l'incorporation de fibres dans sa masse peut améliorer son comportement mécanique. De nombreuses recherches sont donc faites dans le monde entier pour étudier son renforcement par des fibres de différentes natures (Ebanda, 2012; Djoudi et al., 2012; Rachedi et al., 2018).

Afin d'améliorer certaines des propriétés du plâtre, des granulats de caoutchouc recyclé ont été incorporés dans le mortier de plâtre à base du sable du dune (Meddah et al, 2020).

La fabrication des composites à matrice plâtre utilise un protocole de mise en œuvre très simple qui consiste à introduire les fibres dans une pâte de plâtre et après un bon malaxage, le mélange est versé dans les moules désirés et juste après la prise du matériau le démoulage se fait. Généralement, la procédure du mélange est fonction de la morphologie des fibres, courtes ou longues et de leur orientation préférée dans la matrice (Mermat et Kiche, 2017). Il est rapporté dans une étude (Edgar et Pachon, 2011) que le mélange plâtre fibres synthétiques offre une augmentation de la porosité du composite et conduit à une réduction des contraintes

à la rupture en flexion et en compression. Toutefois, la morphologie des fibres peut apporter une amélioration, il en ressort que des fibres de longueur 2 à 4 cm conduisent à des valeurs les plus élevées des caractéristiques mécaniques.

## **I.4 Recyclage**

Le recyclage est une procédure efficace de traitement des déchets industriels et des déchets ménagers qui permet de réintroduire des matériaux issus de déchets dans la fabrication de nouveaux produits. Le recyclage a des bénéfices économiques et écologiques très importants, il réduit le volume de déchets dans la nature, il participe à la préservation des ressources naturelles et aide à créer des emplois. Par exemple, l'acier recyclé permet d'économiser du minerai de fer; le recyclage de 1 kg d'aluminium peut économiser environ 8 kg de bauxite, 4 kg de produits chimiques et 14 kWh d'électricité; chaque tonne de plastique recyclé permet d'économiser 700 kg de pétrole brut; chaque tonne de carton recyclé économise 2.5 tonnes de bois et chaque feuille de papier recyclé fait économiser 11 l'eau et 2.5 kWh d'électricité en plus de 15 g de bois (**Ouamane, 2017**).

Certains procédés de recyclage sont très simples et en bon marché mais d'autres sont complexes, coûteux et peu rentables. Les objectifs des consommateurs ainsi que les objectifs écologiques se rejoignent dans la majorité des cas, mais parfois ils se divergent et là l'intervention de législateur est obligatoire. Depuis les années 70, le recyclage est une politique importante de l'économie et des conditions de vie des pays développés, il s'inscrit dans la stratégie de traitement des déchets qui consiste à réduire la production de déchets, à réutiliser le matériau en offrant au produit usagé un nouvel emploi. Le recyclage contribue alors à la baisse des quantités de déchets à éliminer par enfouissement ou par incinération (**Taleb et Chelabi, 2017**).

### **I.4.1 Origine de la production de déchets**

La production des déchets est inéluctable pour les raisons suivantes :

- Biologiques: tout cycle de vie produit des métabolites;
- Chimiques: toute réaction chimique est régie par le principe de la conservation de la matière, pour avoir un produit à partir de deux autres on en produira un quatrième;
- Technologiques: tout procédé industriel conduit à la production de déchet;
- Économiques: les produits en une durée de vie limitée;

- Écologiques: les activités de la dépollution (eau, air) génèrent inévitablement d'autres déchets qui nécessiteront une gestion spécifique;
- Accidentelles: les inévitables dysfonctionnements des systèmes de production et de consommation sont eux aussi à l'origine de déchets (**Article L.541-3 Code de l'Environnement**).

#### **I.4.2 Tonnages de déchets de plâtre**

Il est très difficile de déterminer avec précision les tonnages de déchets de plâtre générés chaque année. Cela tient essentiellement au fait de l'hétérogénéité des sources de ces déchets. On se contente donc d'une estimation assez imprécise qui donne les déchets de plâtre par habitant à environ 7 à 8 kg/an. En France les tonnages s'approchent des 450000 tonnes, mais en Algérie, aucune politique de recensement de taux de déchet de plâtre n'est mise en service, bien que le plâtre soit très utilisé dans le domaine de bâtiment. La moitié de ces déchets provient des chutes de pose qui sont évaluées à environ 5 % des volumes utilisés sur un chantier. Ce taux de chute varie fortement d'un chantier à l'autre, en fonction de la nature du chantier mais aussi de la typologie du metteur en œuvre. L'autre moitié des tonnages est générée lors des opérations de déconstruction qui devient une pratique de plus en plus répandue car exigée par les maîtres d'ouvrage (**Ouamane, 2017**).

#### **I.4.3 Valorisation de déchets à base de plâtre**

Les déchets à base de plâtre sont recyclables certes, mais sont maintenant recyclés grâce notamment à l'engagement des producteurs de plaques de plâtre. Les tonnages en jeu sont très importants et vont encore aujourd'hui en majorité en centre de stockage. Peu de solutions de valorisation existaient jusqu'à présent, la filière d'amendement agricole ou de valorisation matière en cimenterie absorbant des tonnages très marginaux. La mise en place du recyclage dans la production de plâtre est très progressive mais présente de solides atouts pour adresser la problématique de ce déchet de manière systémique. Le succès de la mise en place de cette filière pourrait bien entraîner l'ensemble des déchets de chantiers vers la voie de la valorisation et permettre aux différents acteurs économiques de gérer les matériaux de construction de manière plus durable (**Belayachi et al., 2015**).

## **I.5 Conclusion**

Le plâtre est un matériau de construction naturel et écologique depuis l'antiquité. Le plâtre est caractérisé par ses propriétés thermiques et acoustiques et sa résistance au feu. Ces propriétés lui permettent d'être le matériau le plus recommandé pour faire des enduits intérieurs dans le bâtiment. Les composites du plâtre sont capables d'offrir des performances mécaniques très considérables qui élargissent son domaine d'emploi. Le plâtre est tout naturellement prédestiné au recyclage. Il offre avantageusement une préférence qu'elle soit économique, écologique et sécuritaire par sa très bonne résistance au feu. On dit de lui que c'est un matériau qui boucle la boucle par excellence c'est-à-dire recyclable à 100 %. Le recyclage du plâtre mis en jeu deux grands volets économiques et environnementaux, réduire le prix de revient tout en préservant la nature par les tonnages élevés de déchets encombrants récupérés. Par ce travail expérimental nous avons essayé de contribuer à la valorisation du déchet plâtre et de voir la possibilité de son réintroduction dans les chaînes de fabrication des matériaux à base de plâtre. Pour cela une investigation expérimentale a été menée sur des échantillons de plâtre récupérés des décharges de matériaux de construction.

# Chapitre II:

## Identification des Matériaux et Méthodes Expérimentales

## 1.1 Introduction

Dans cette présente partie de mémoire une présentation des matériaux et des techniques expérimentales utilisés est donnée. Une caractérisation physique, chimique et mécanique est réalisée sur tous les matériaux qui sont des matériaux locaux ou fabriqué en Algérie. Les matériaux proviennent alors de la région de Laghouat (Sable de Dune, Plâtre Recyclé) ou des régions avoisinantes, comme Ghardaïa (Plâtre, Chaux Aérienne) et Bordj Bou Arreridj (Fibres Synthétiques). Pours tous les essais menés dans ce travail, une exposition détaillée de leurs protocoles est donné aussi dans ce chapitre.

## 1.2 Identification des matériaux utilisés

### 1.2.1 Plâtre

Le plâtre utilisé dans cette étude est fabriqué par **SPA Oasis** qui se trouve à **Ghardaïa** (Figure II.1), c'est un plâtre à bâtir, disponible sur le marché sous des sacs de 40 kg.



Figure. II.1. Sac du plâtre employé

#### a) Analyse chimique et minéralogique

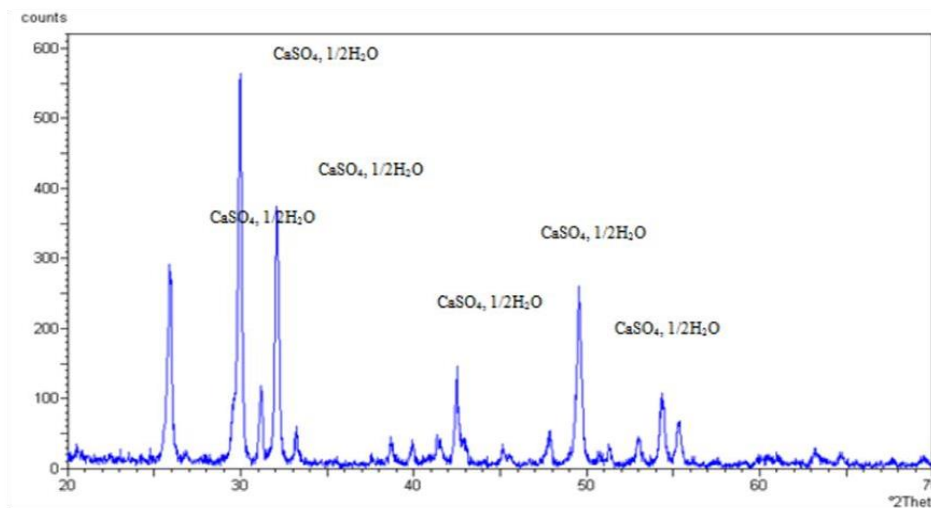
La composition chimique de ce plâtre est présentée sur le tableau II.1, selon sa fiche technique.

Tableau II.1: Analyse chimique du plâtre.

Constituants	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	KO	Cl
Teneur (%)	0.70	0.10	0.08	32.15	0.53	44.95	0.09	0.03	0.002

Les espèces les plus prépondérantes dans le plâtre, selon le tableau II.1 sont les CaO et les SO<sub>2</sub>, ce qui confirme que le composant principal est le sulfate de Calcium CaSO<sub>4</sub>.

D'après son analyse minéralogique, réalisée par diffractométrie des rayons X au laboratoire de physique à l'université de Laghouat, le plâtre est constitué essentiellement de **Hemi-hydrate (CaSO<sub>4</sub>.1/2 H<sub>2</sub>O)** (Figure II.2).



**Figure. II.2.** Diffractogramme du plâtre utilisé.

### b) Taux de gâchage

Le taux de gâchage est déterminé conformément à la norme NFB 12-401, selon le mode opératoire ci-dessous:

- On prend 100 ml d'eau dans un bécher de 250 ml;
- On saupoudre le plâtre dans le bécher pendant 30 secondes jusqu'à ce que le niveau de plâtre soit à 50 ml, et pendant la deuxième 30 secondes atteindre 100 ml;
- On continue l'opération jusqu'à ce que la quantité d'eau soit absorbée par le plâtre et cela pendant la deuxième minute.

### c) Finesse de mouture

La finesse de mouture du plâtre est déterminée conformément à la norme NF B 12.401, en utilisant les trois tamis, 0.2 mm, 0.4 mm et 0.8 mm, selon le mode opératoire suivant:

- On sèche 150 g de plâtre pendant 1 heure à une température de 105 °C;
- On met le plâtre sec à l'air et on le laisse refroidir jusqu'à la température ambiante;
- On pèse 50 g du plâtre sec avec une précision de 0.1 g;
- On crible l'échantillon à l'aide du tamis;
- On pèse le refus avec une précision de 0.1 g;

La finesse de mouture  $f$  du plâtre est alors calculée par la formule suivante :

$$f = \frac{M_1}{M_2} \%$$

Où:

- $M_1$  : Masse de refus du plâtre sur le tamis (g);
- $M_2$  : Masse d'échantillon (= 50 g);

Selon les valeurs obtenues (tableau II.2) et en se référant au tableau II.3, le plâtre utilisé est considéré comme un plâtre gros de construction et cela d'après sa finesse de mouture trouvée:

$$\text{Tamis 0.8 mm} \rightarrow 5 < r = 7.1 < 20$$

$$\text{Tamis 0.4 mm} \rightarrow 20 \leq 33 < 40$$

**Tableau II.2:** Valeurs de la finesse du plâtre utilisé.

Tamis		Refus r (%) de la masse initiale
Ouverture (mm)	Module	
0.8	30	<b>7.10</b>
0.4	27	<b>33</b>
0.2	24	<b>13.6</b>

**Tableau II.3:** Finesse de plâtres de construction selon la norme NFB 12-401.

Tamis		Refus r (%) de la masse initiale	
Ouverture (mm)	Module	PGC (Plâtre gros de construction)	PFC (Plâtre fin de construction)
0.8	30	<b><math>5 \leq r \leq 20</math></b>	$r \leq 2$
0.4	27	<b><math>20 \leq r \leq 40</math></b>	$r \leq 15$
0.2	24		$r \leq 35$

### d) Temps de prise

Le temps de prise le plus courant est appelé temps-couteau. L'essai consiste à verser un mélange d'eau et de plâtre sur une plaque de verre, suivant le taux de gâchage mesuré. Chaque 10 secondes, une galette est tranchée avec une lame d'un couteau, le moment où le sillon fait ne referme plus, est appelé le temps de début de prise. Pour les plâtres de préfabrication, le temps de prise est entre 1 et 4 minutes. La fin de prise est atteinte alors lorsque la pression du pouce sur la galette ne fait plus sortir d'eau et ne laisse plus de traces. Le mode opératoire de l'essai est comme suit:

- Préparer dans une tasse en porcelaine la quantité d'eau correspondante à la consistance normale de 200 g de plâtre (pesée avec une précision de 1 g).
- Verser le plâtre dans l'eau et malaxer pendant 30 s avec une vitesse constante.
- Verser la pâte dans un moule tronconique préalablement graissé, en arasant la surface par un couteau métallique (opération ne doit pas dépasser 30 s).
- Placer le moule tronconique dans l'appareil de Vicat (Figure. II.3) en fixant l'aiguille au contact avec la surface de la pâte.
- Libérer l'aiguille en la laissant s'enfoncer par son propre poids dans la pâte, en suivant la distance entre l'extrémité de l'aiguille et la surface de l'appareil de Vicat.
- Répéter cette opération toutes les 30 s, en changeant chaque fois le lieu de la chute d'aiguille.



**Figure. II.3.** Détermination de temps de pris par appareil de Vicat.

Le tableau II.4 récapitule les différentes propriétés du plâtre employé.

**Tableau II.4:** Propriétés du plâtre employé.

Propriétés	Résultats	Norme
Masse volumique apparente (kg/m <sup>3</sup> )	<b>892 ± 0.1</b>	NFP (18-555)
Masse volumique absolue (kg/m <sup>3</sup> )	<b>2512 ± 0.1</b>	NFP (18-555)
Porosité (%)	<b>65</b>	NFP (18-555)
Compacité (%)	<b>35</b>	NFP (18-555)
Taux de gâchage (E/P)	<b>0.6</b>	NFB 12-401
Temps de prise	<b>6 min 30 s</b>	CNERIB

### 1.2.2 Plâtre recyclé

Il s'agit d'un déchet de plâtre collecté du chantier 62 logements promotionnels à la ville de Laghouat qui appartient à l'**entreprise de réalisation DAHAN BRAHIM** (Figure II.4). Le plâtre utilisé par cette entreprise pour enduire les surfaces intérieures des pièces est un plâtre de type "**KNAUF MP 75**" (Figure II.5). C'est un plâtre à projeter monocouche, fabriqué en Algérie par KNAUF Plâtre d'Oran et vendu sous des sacs de 30 kg. Le plâtre recyclé est utilisé dans la composition du mortier en substituant le plâtre par 10, 20, 30, 40 et 50%.

**Figure. II.4.** Déchet de plâtre employé**Figure. II.5.** Sacs de plâtre "KNAUF MP 75"

**a) Traitement de déchet de plâtre**

Nous avons procédé en premier lieu au ramassage de déchets de plâtre qui est tombé sur terre suite aux travaux d'enduit réalisés sur les murs intérieurs des logements, par des ouvriers spécialistes. La quantité de déchet collecté du chantier en question est considérable et peut nous servir à la réalisation de notre projet. Après la collecte, nous avons transporté le déchet au laboratoire de l'université, où il a été traité, soit débarrassé de tout papier de sac, ou autres matériaux, comme graviers, plastique ou bois. Ensuite, le déchet est soumis aux différentes opérations de concassage, de broyage et de tamisage, comme montrées sur la figure II.6, pour l'obtention du produit final. Etant donné que le plâtre recyclé a déjà été hydraté suite à son gâchage avec l'eau, lors de son premier emploi, il doit subir un traitement thermique à une température de 105 °C pendant 8 heures, afin de récupérer toutes ses propriétés liantes.

**Etape (1): Concassage manuel****Etape (2): Concassage mécanique****Etape (3): Broyage****Etape (4): Tamisage**

**Etape (5): Cuisson****Etape (6): Produit fini****Figure. II.6.** Les étapes de traitement du déchet de plâtre**b) Caractérisation de déchet de plâtre**

Selon les valeurs obtenues de la finesse de mouture du plâtre recyclé (tableau II.5) et par comparaison avec les valeurs normalisées présentés sur le tableau II.3 ci-dessus, le plâtre recyclé est classé dans la catégorie des plâtres gros de construction.

**Tableau II.5:** Valeurs de la finesse du plâtre recyclé.

Tamis		Refus r (%) de la masse initiale
0.8	30	<b>6.70</b>
0.4	27	<b>31.15</b>
0.2	24	<b>12.15</b>

Le plâtre ainsi récupéré a subit une série d'essais de caractérisation physiques, dont les résultats sont regroupés sur le tableau II.6.

**Tableau II.6:** Propriétés du plâtre recyclé.

Propriétés	Résultats	Norme
Masse volumique apparente (kg/m <sup>3</sup> )	<b>886 ± 0.1</b>	NFP (18-555)
Masse volumique absolue (kg/m <sup>3</sup> )	<b>2270 ± 0.1</b>	NFP (18-555)
Porosité (%)	<b>61</b>	NFP (18-555)
Compacité (%)	<b>39</b>	NFP (18-555)
Taux de gâchage (E/P)	<b>0.55</b>	NFB 12-401
Temps de prise	<b>illimité</b>	Non défini

### 1.2.3 Fibres

Les fibres utilisées dans ce travail sont des fibres synthétiques de polypropylène (Figure. II.7), produites par l'usine PLAST BROS DE BORDJ BOU ARRERIDJ, en Algérie. Les essais de caractérisation des fibres ont été réalisés au laboratoire de Génie Civil de l'université de Laghouat, dans le cadre d'un travail antérieur (Bendjilali, 2019), dont les résultats sont donnés sur le tableau II.7. Les dosages de fibres optés pour cette étude sont 1 et 2 % du poids total du liant (plâtre + plâtre recyclé).

**Figure. II.7.** Fibres de polypropylène employées.

**Tableau II.7:** Caractéristiques des fibres employées (Bendjilali et al., 2022).

Nature	<b>Thermoplastique</b>
Surface	<b>Lisse</b>
Section transversale	<b>Circulaire</b>
Diamètre (mm)	<b>0.45</b>
Longueur (mm)	<b>30</b>
Densité	<b>0.99</b>
Absorption à l'eau	<b>Nulle</b>
Résistance à la traction (MPa)	<b>204</b>

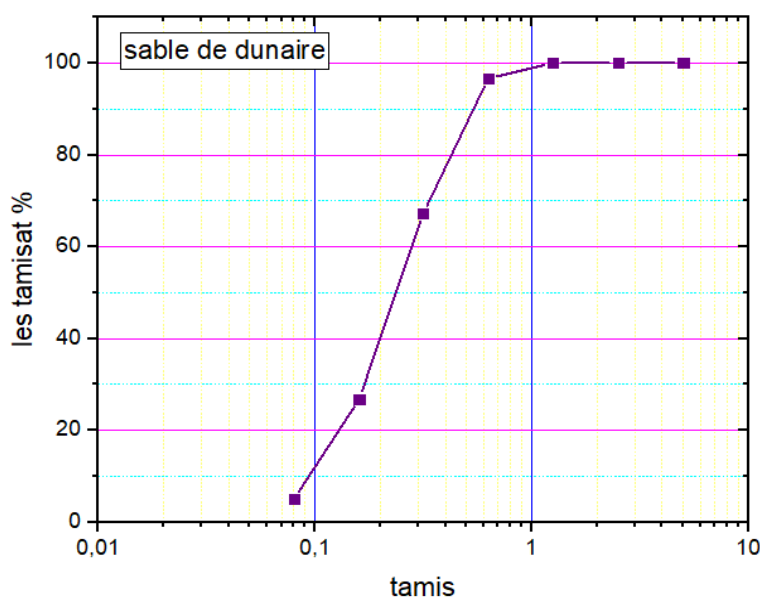
### 1.2.4 Sable de dunes

Le sable de dune qui résulte de l'érosion et du dépôt de différentes roches, est généralement composé de quartz. Il se caractérise par des grains fins et très denses. Dans notre étude, nous avons utilisé le sable de dune de la région de l'Oasis Nord de la ville de Laghouat (Figure. II.8). Les résultats de l'analyse granulométrique par tamisage à sec, effectué sur le sable conformément à la norme EN 933-1 sont résumés sur le tableau II.8. Selon la courbe granulométrique présentée en figure. II.9, il semble que le sable de dune utilisé est fin à granulométrie continue.

**Figure. II.8.** Sable de dunes employé

**Tableau II.8:** Résultats de l'analyse granulométrique du sable de dunes utilisé.

Tamis (mm)	Poids (g)		Teneurs (%)	
	Refus partiel	Refus cumulé	Refus cumulé	Tamisat
1.25	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>100</b>
0.63	<b>16.91</b>	<b>16.91</b>	<b>3.382</b>	<b>96.618</b>
0.315	<b>147.06</b>	<b>163.97</b>	<b>32,794</b>	<b>67.206</b>
0.16	<b>202.31</b>	<b>366.28</b>	<b>73,256</b>	<b>26.744</b>
0.08	<b>108.39</b>	<b>474.67</b>	<b>94,934</b>	<b>5.066</b>
Fond	<b>24.33</b>	<b>499</b>	<b>99.8</b>	<b>0.2</b>

**Figure. II.9.** Courbe granulométrique du sable de dune.

Les résultats de la caractérisation physique du sable sont donnés sur le tableau II.9.

**Tableau II.9:** Propriétés physiques du sable de dunes utilisé.

Propriétés	Résultats	Norme
Masse volumique apparente ( $\text{kg/m}^3$ )	<b>1566.05</b>	NFP (18-555)
Masse volumique absolue ( $\text{kg/m}^3$ )	<b>2500.92</b>	NFP (18-555)
Module de finesse $M_f$	<b>1.21</b>	NF P18 304
Equivalent de sable visuel $E_{sv}$	<b>81.27</b>	NFP (18-598)
Equivalent de sable à piston $E_{sp}$	<b>80.43</b>	NFP (18-598)

Coefficient d'absorption d'eau (%)	<b>1.68</b>	CNERIB (41)
------------------------------------	-------------	-------------

### 1.2.5 Chaux

La chaux aérienne utilisée dans cette étude provient de l'usine B.C.M.C de Berriane, à la wilaya de Ghardaïa (Figure. II.10). La nomination chimique de la chaux aérienne est oxyde de calcium et magnésium et sa forme chimique est  $\text{CaOMgO}$ . Elle est généralement employée comme retardateur de prise du plâtre, en réduisant sa solubilité et prolongeant ainsi son temps de travail, sans affecter ses propriétés mécaniques. Le dosage de la chaux aérienne utilisé est 2.6 % du poids total du plâtre (plâtre + plâtre recyclé).

L'analyse chimique réalisée sur la chaux comme mentionné sur le tableau II.10 montre que le CaO et MgO sont les espèces les plus prépondérantes, ce qui indique que le  $\text{CaCO}_3$ .

**Tableau II.10:** Analyse chimique de la chaux aérienne utilisée (Djoudi, 2001).

Constituant	CaO	MgO	$\text{SiO}_2$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Al}_2\text{O}_3$
Pourcentage (%)	<b>56</b>	<b>24</b>	<b>0.4</b>	<b>0.08</b>	<b>0.04</b>



**Figure .II.10.** Sac de la chaux aérienne utilisée.

### 1.2.6 Eau de gâchage

L'eau utilisée pour la préparation des mortiers est l'eau du robinet du laboratoire de Génie

Civil de l'université de Laghouat. Le rôle de l'eau de gâchage est l'hydratation du plâtre, le mouillage des grains du sable et la l'obtention d'une bonne maniabilité, qui assure un bon malaxage et une meilleure mise en œuvre des mortiers.

### 1.3 Formulation de mortiers de plâtre

Dix huit formulations ont été préparées dans le cadre de cette étude, en prenant  $E/P = 0.55$  et  $S/P = 0.5$ , les pourcentages de substituant du plâtre recyclé sont 10, 20, 30, 40 et 50 % du poids du plâtre, les fibres sont ajoutées à raison de 1 et 2 % du poids total du liant (plâtre + plâtre recyclé) et le dosage de la chaux aérienne utilisé est 2.6 % du poids du liant (plâtre + plâtre recyclé). Le tableau II.11 récapitule toutes les formulations adoptées dans ce présent travail.

**Tableau II.11:** Formulations de mortiers de plâtre.

Mélange	Plâtre (g)	Plâtre recyclé (g)	Sable (g)	Eau (g)	Fibre (g)	Chaux aérienne (g)
MP <sub>0/0</sub>	800	0	400	440	0	21
MP <sub>0/1</sub>	800	0	400	440	8	21
MP <sub>0/2</sub>	800	0	400	440	16	21
MP <sub>10/0</sub>	720	80	400	440	0	21
MP <sub>10/1</sub>	720	80	400	440	8	21
MP <sub>10/2</sub>	720	80	400	440	16	21
MP <sub>20/0</sub>	640	160	400	440	0	21
MP <sub>20/1</sub>	640	160	400	440	8	21
MP <sub>20/2</sub>	640	160	400	440	16	21
MP <sub>30/0</sub>	560	240	400	440	0	21
MP <sub>30/1</sub>	560	240	400	440	8	21
MP <sub>30/2</sub>	560	240	400	440	16	21
MP <sub>40/0</sub>	480	320	400	440	0	21
MP <sub>40/1</sub>	480	320	400	440	8	21
MP <sub>40/2</sub>	480	320	400	440	16	21
MP <sub>50/0</sub>	400	400	400	440	0	21
MP <sub>50/1</sub>	400	400	400	440	8	21
MP <sub>50/2</sub>	400	400	400	440	16	21

La désignation des différentes formulations est comme suit:

**MP<sub>0/0</sub>**: mortier témoin, sans plâtre recyclé et sans fibres,

**MP<sub>0/1</sub>**: mortier témoin sans plâtre recyclé et avec 1 % de fibres,

**MP<sub>0/2</sub>**: mortier témoin sans plâtre recyclé et avec 1 % de fibres,

**MP<sub>10/0</sub>**: mortier avec 10 % de plâtre recyclé et sans fibres

**MP<sub>10/1</sub>** : mortier avec 10 % de plâtre recyclé et 1 % de fibres

**MP<sub>10/2</sub>** : mortier avec 10 % de plâtre recyclé et 2 % de fibres

**MP<sub>20/0</sub>** : mortier avec 20 % de plâtre recyclé et sans fibres

**MP<sub>20/1</sub>** : mortier avec 20 % de plâtre recyclé et 1 % de fibres

**MP<sub>20/2</sub>** : mortier avec 20 % de plâtre recyclé et 2 % de fibres

**MP<sub>30/0</sub>** : mortier avec 30 % de plâtre recyclé et sans fibres

**MP<sub>30/1</sub>** : mortier avec 30 % de plâtre recyclé et 1 % de fibres

**MP<sub>30/2</sub>** : mortier avec 30 % de plâtre recyclé et 2 % de fibres

**MP<sub>40/0</sub>** : mortier avec 40 % de plâtre recyclé et sans fibres

**MP<sub>40/1</sub>** : mortier avec 40 % de plâtre recyclé et 1 % de fibres

**MP<sub>40/2</sub>** : mortier avec 40 % de plâtre recyclé et 2 % de fibres

**MP<sub>50/0</sub>** : mortier avec 50 % de plâtre recyclé et sans fibres

**MP<sub>50/1</sub>** : mortier avec 50 % de plâtre recyclé et 1 % de fibres

**MP<sub>50/2</sub>** : mortier avec 50 % de plâtre recyclé et 2 % de fibres

### 1.3.1 Malaxage et mise en œuvre du mortier de plâtre

Les mélanges sont préparés en suivant le protocole suivant:

- On mélange le plâtre, la chaux, le sable et les fibres à sec;
- On prend en considération que l'orientation des fibres est aléatoire;
- On saupoudre le mélange dans le récipient qui contient l'eau avec un malaxage manuel
- On verse rapidement le mortier dans les moules  $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$  (Figure. II.11);
- Après le malaxage, on met le mélange dans les moules, la mise en moule est faite sans vibration à raison de 2 couches piquées à la truelle pour éviter le problème de ségrégation;
- Les moules remplis du mortier sont maintenus à l'air libre du laboratoire ( $T = 25 \text{ °C}$  et 35 % HR);
- Le démoulage est fait après 24 heures.



**Figure. II.11.** Epreuves 4×4×16 cm<sup>3</sup> de mortier de plâtre.

### 1.3.2 Conditions de conservation

Les épreuves une fois démoulées, sont conservées dans l'atmosphère du laboratoire sous une température de 25 °C et une humidité de 37 % HR (Figure. II.12).



**Figure. II.12.** Conservation des épreuves de mortier de plâtre au laboratoire.

### 1.4 Essais mécaniques

Les essais mécaniques sont réalisés conformément à la norme EN 196-1, à l'aide d'une machine de type «CONTROLS» (Figure. II.13), ayant une charge maximale de 100 kN. L'écrasement en flexion et en compression est réalisé après 7 et 28 jours d'âge sur les épreuves prismatiques 40 x 40 x 160 mm, conservées à l'air libre du laboratoire. La moyenne de trois essais est prise comme valeur de la résistance mécanique.



Figure. II.13. Appareillage d'essais mécaniques

### 1.4.1 Essai de flexion

L'essai de flexion à trois points est effectué sur les prismes 40 x 40 x 160 mm (Figure. II.14), avec une vitesse de charge de 5 kN/s. La résistance à la flexion  $R_f$  est calculée comme suit:

$$R_f = \frac{3 F L}{2 b \times h \times h}$$

Avec:

$R_f$ : Résistance à la flexion (N/mm<sup>2</sup>).

$F$ : Force appliquée (N).

$L$ : Distance entre les appuis (= 100 mm).

$b$ : Arête de la section carrée de prisme (= 40 mm).

$h$ : Hauteur de l'éprouvette (= 40 mm).

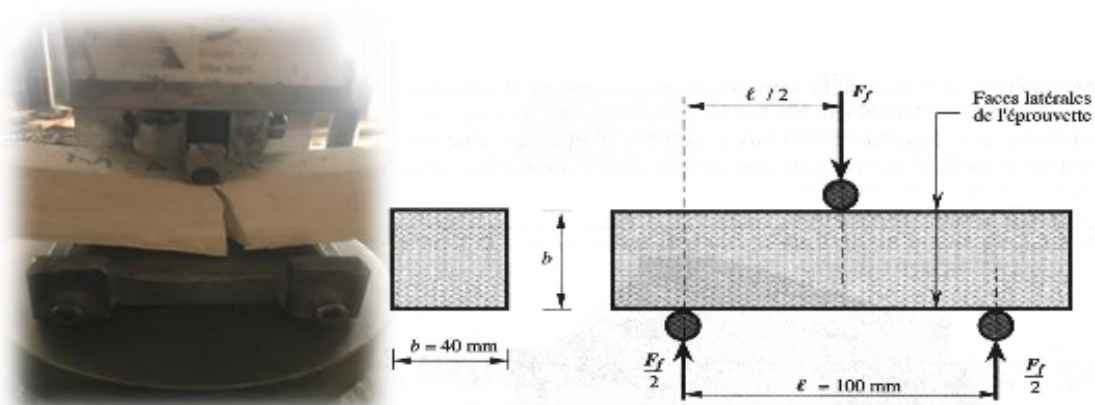


Figure. II.14. Essai de flexion à trois points.

### 1.4.2 Essai de compression

L'essai de compression est effectué sur les demi-prismes résultants de l'écrasement des éprouvettes en flexion (Figure. II.15), avec une vitesse de charge de 240 kN/s. La résistance à la compression  $R_c$  est calculée par la relation ci-dessous.

$$R_c = \frac{F_c}{S}$$

Avec:

$R_c$ : Résistance à la compression (N/mm<sup>2</sup>)

$F_c$ : Charge à la rupture (N)

$S$ : L'aire des plateaux ou des plaques auxiliaires en mm<sup>2</sup> (1600 mm<sup>2</sup>).

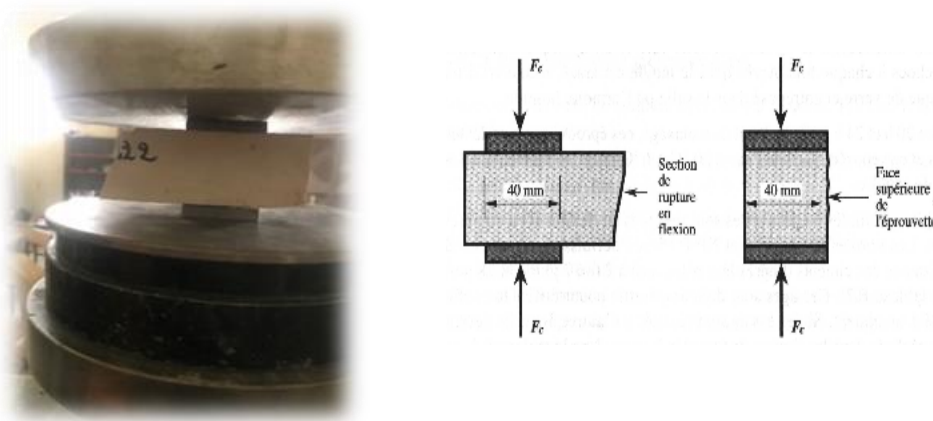


Figure. II.15. Essai de compression.

### 1.5 Mesure de retrait

Dans cette étude, la variation dimensionnelle des mortiers est mesurée selon la norme (NF P 15-433), sur des échantillons préparés, en utilisant des moules prismatiques 40 × 40 × 160 mm menés de goujons aux extrémités (Figure. II.16). La mesure est faite dès le premier jour, juste après le démoulage et jusqu'à l'âge de 28 jours, en utilisant l'appareil présenté sur la figure. II.17. Le retrait enregistré au temps (t) est donné par la relation suivante:

$$\frac{\Delta L}{L} = \left| \frac{L_f - L_i}{16} \right|$$

Avec:

$L_f$ : Longueur finale.

$L_i$ : Longueur initiale.

La variation de la température et de l'humidité du milieu extérieur est mesurée chaque jour pendant la mesure du retrait et présentée sur le tableau II.12.

**Tableau II.12:** Variation de température et d'humidité pendant les mesures de retrait.

Jours (jours)	01 - 03	07 - 13	15 - 21	21 - 28
T (C°)	<b>23</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>25</b>
Humidité relative (% RH)	<b>35</b>	<b>37</b>	<b>37</b>	<b>37</b>



**Figure. II.16.** Moules pour l'essai de retrait



**Figure. II.17.** Mesure de retrait

## 1.6 Mesure des propriétés thermiques

Les propriétés isolantes des matériaux de construction se quantifient au travers de deux paramètres, la conductivité thermique « $\lambda$ » et la diffusivité « $a$ ». Ces paramètres sont fonction des caractéristiques intrinsèques des composants, de la microstructure du matériau et des conditions de conservation.

### 1.6.1. Conductivité thermique

C'est la quantité de chaleur transférée en une unité de temps au travers d'un matériau d'une unité de surface et d'une unité d'épaisseur, quand les deux faces opposées, diffèrent d'une unité de température. Plus le matériau est isolant, plus sa conductivité thermique est faible (Kassou, 2016) La porosité et la teneur en eau sont parmi les facteurs influençant la conductivité thermique des matériaux de construction. Le tableau II.13 présente les valeurs de

la conductivité thermique qui varie avec la densité (**Herihiri, 2010**).

**Tableau II.13:** Conductivité thermiques des plâtres.

Plâtre	Densité (Kg/m <sup>3</sup> )	Conductivité thermiques (W/m°C)
Plâtres gâches serrés à très serrés, des plâtres THD et projetés	<b>1100 - 1300</b>	<b>0.50</b>
Les carreaux de plâtre à parements lisses	<b>900 à 1000</b>	<b>0.35</b>
Plâtre allèges à la perlite	<b>600 - 900</b>	<b>0.30 - 0.25</b>

### 1.6.2. Chaleur spécifique

La chaleur spécifique ou chaleur massique  $C$  donnée en J/kgK se caractérise par la quantité de chaleur nécessaire pour élever la température de l'unité de masse de 1 °C. Plus la chaleur massique est élevée, plus le matériau a besoin d'énergie pour que sa température augmente (**Ayadi et Iratini, 2002**).

### 1.6.3. Méthodes de mesure des paramètres thermiques

Plusieurs méthodes de mesure de la conductivité thermique, de la diffusivité thermique et de l'effusivité thermique des matériaux se basent sur la détermination d'un champ de température dans des échantillons de géométrie connue, en fixant des conditions aux limites constantes ou variables avec le temps. Parmi les méthodes les plus utilisées, la technique de la sonde plane TPS (Transient Plane Source ou Hot Disk) et la technique de la sonde à chocs (**Ziregue, 2018**).

### 1.6.4. Protocole expérimental de la technique de la sonde à chocs

La technique du fil chaud est la méthode transitoire classique qui permet d'estimer la conductivité thermique des matériaux isolants à partir de l'évolution de la température mesurée par un thermocouple placé à proximité d'un fil résistif. Le dispositif de mesure est constitué d'une sonde à chocs thermique, à placer entre deux échantillons du matériau à caractériser (montage symétrique), d'un boîtier d'acquisition électronique et d'un logiciel de type interface graphique pour piloter les essais et traiter les résultats (**Hafsi, 2010**). La figure II.18 donne le dispositif employé dans ce travail.



**Figure. II.18.** Dispositif de mesure de conductivité thermique.

Les échantillons employés peuvent être des solides, des pâtes, des poudres ou des fibres. La taille minimale des échantillons est 60 x 40 mm, de quelques mm d'épaisseur pour un isolant à quelques cm pour un conducteur. La plage de conductivité varie entre 0.02 à 5  $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  avec une plage de température de -20 à 100 °C et une alimentation de l'ordre de 220 V. La précision des mesures est au voisinage de 5 % avec une reproductibilité de 3 %.

Le principe de la sonde à chocs est de produire localement un échauffement faible du matériau (quelques degrés au dessus de la température) et de mesurer cette élévation de température au cours du temps. Par un traitement mathématique de ce signal intégré dans le logiciel fourni, l'identification de la conductivité thermique est réalisée. Selon les spécificités des matériaux à caractériser ou des propriétés thermiques à rechercher, il suffit de brancher la sonde retenue sur l'alimentation FP2C et d'utiliser le logiciel associé (figure II.19).



**Figure. II.19.** Mesure la conductivité thermique.

## 1.7 Conclusion

L'étude de caractérisation des matériaux utilisés a montré que:

- Le plâtre utilisé est un plâtre de qualité d'après la teneur élevée en  $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ .
- Le plâtre utilisé est un plâtre gros de construction, selon sa finesse de mouture.
- Le plâtre utilisé est un plâtre à prise courte, d'où la nécessité de l'emploi d'un retardateur de prise.
- Le temps de prise du plâtre recyclé est très long dû à la présence dans sa composition d'un retardateur de prise.
- Le sable dunaire utilisé possède des propriétés acceptables pour fabriquer un bon mortier.
- L'eau potable se prête très bien pour le malaxage du plâtre.



# Chapitre III :

Résultats et

Interprétations

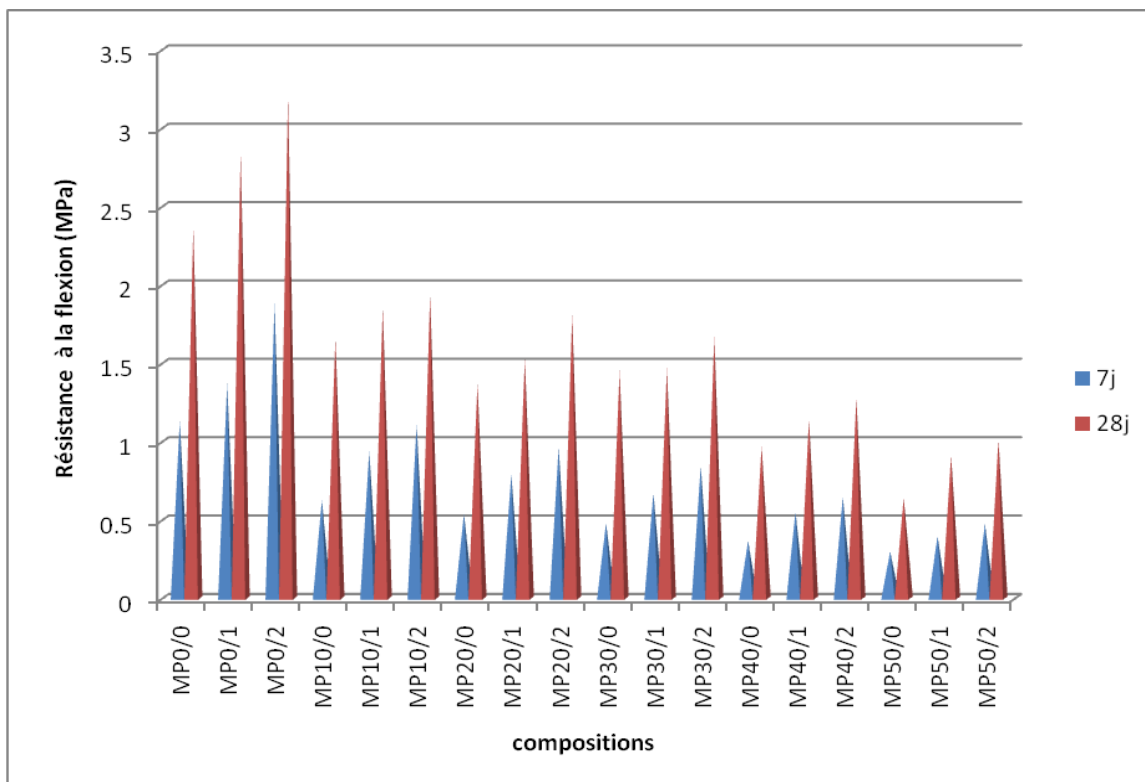
### 3.1 Introduction

Le présent chapitre est consacré à la présentation des résultats de la caractérisation mécanique, physique et thermique des mortiers à différentes compositions. Alors les résultats sont présentés suivant le même ordre du chapitre précédent pour faciliter le suivi des différents comportements et faire une meilleure discussion.

### 3.2 Etude des propriétés mécaniques

#### 3.2.1. Résistance à la flexion

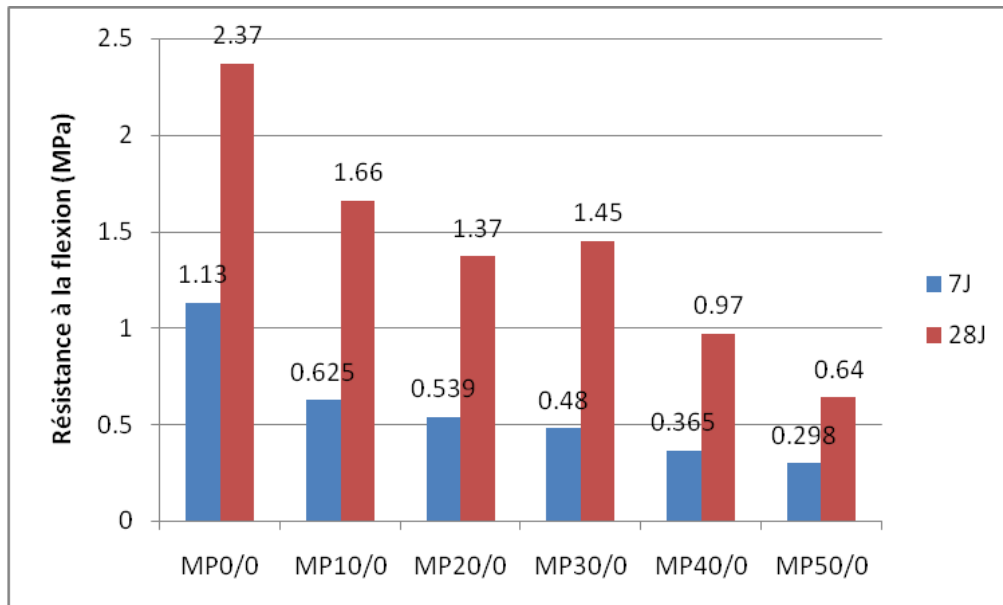
La figure III.1 schématise la variation de la résistance à la flexion de toutes les compositions à 7 et à 28 jours d'âge. Selon la même figure, il est constaté que la résistance à la flexion est meilleure à l'âge de 28 jours pour toutes les compositions, ce qui confirme que les conditions de conservation au laboratoire ( $T= 25\text{ °C}$  et  $35\text{ \% HR}$ ) ont participé positivement à l'évolution de cette résistance. Généralement, les matériaux gagnent de résistance mécanique avec l'âge, une fois les conditions hygrothermiques sont favorables. Il est remarqué aussi que les mortiers témoins confectionnés sans emploi de plâtre recyclé ont donné le meilleur comportement en flexion à 7 jours et aussi à 28 jours.



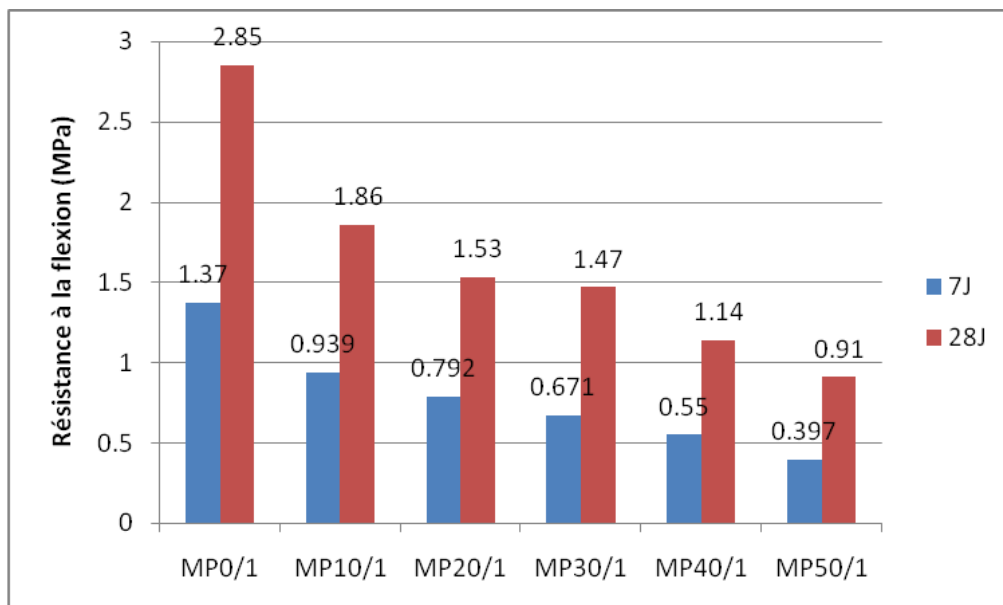
**Figure.III.1.** Variation de la résistance à la flexion des mortiers à 7 et à 28 j d'âge.

### a. Effet de la substitution du plâtre

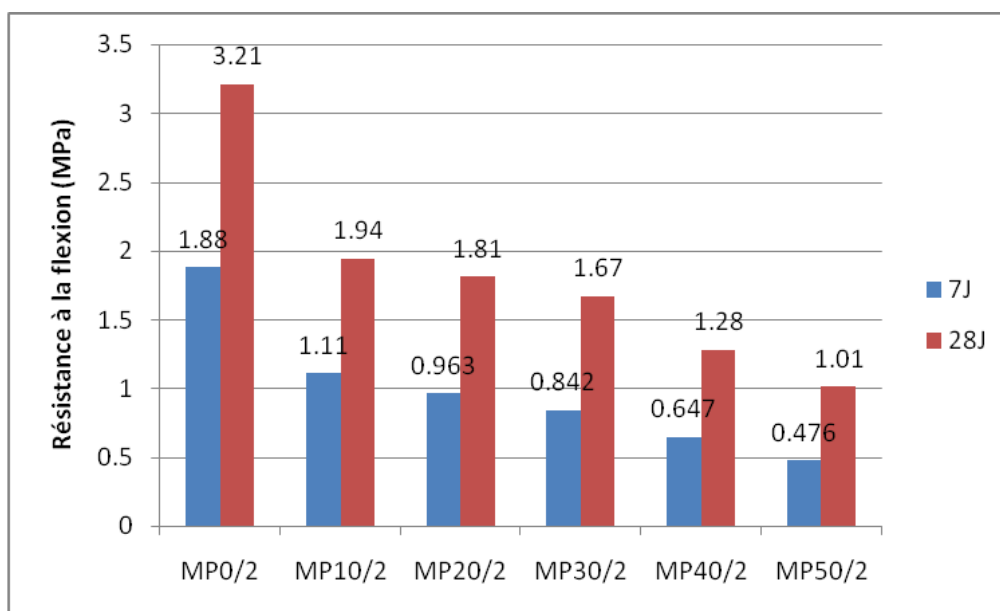
Pour mener une bonne discussion, nous allons présenter chaque série de mortiers sur un graphique séparé. Les figures III.2-III.4 illustrent les résistances en flexion respectivement des compositions préparées sans fibres, celles avec 1 % de fibres et celles avec 2 % de fibres.



**Figure.III.2.** Résistance à la flexion des mortiers sans fibres.



**Figure.III.3.** Résistance à la flexion des mortiers renforcés par 1 % de fibres.



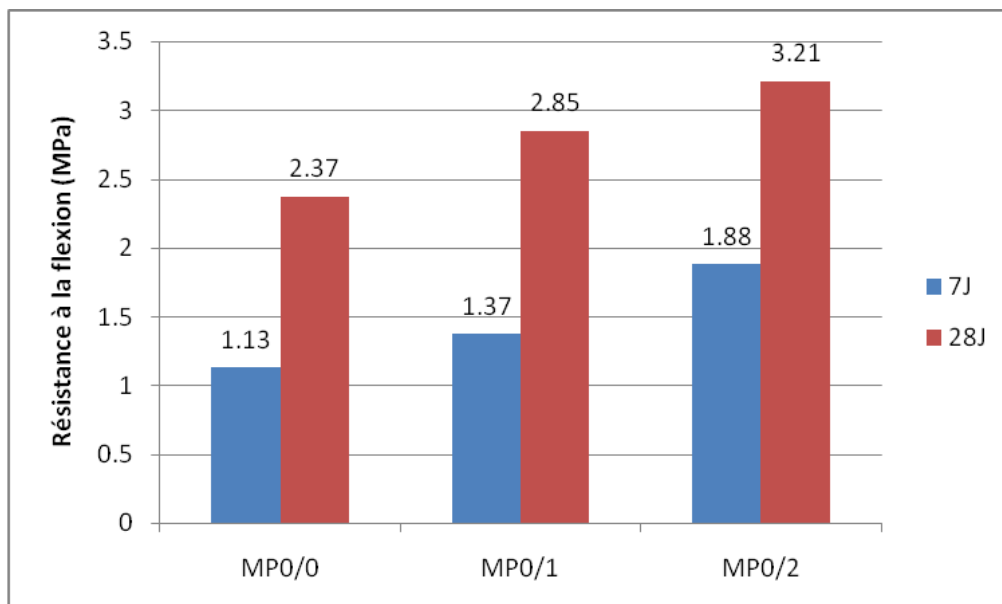
**Figure.III.4.** Résistance à la flexion des mortiers renforcés par 2 % de fibres.

En observant les figures III.2-III.4, il s'avère qu'en substituant le plâtre par le plâtre recyclé, la résistance à la flexion à 7 jours et celle à 28 jours des mortiers diminuent et que cette diminution croît avec l'augmentation du taux de substitution. Par exemple le pourcentage de diminution de la résistance en flexion à 7 jours des mortiers sans fibres varie entre 45, 52, 58, 68 et 74 % pour respectivement 10, 20, 30, 40 et 50 % de substitution, par rapport au mélange témoin  $MP_{0/0}$  et entre 30, 42, 39, 59 et 73 % pour la résistance à 28 jours (Figure III.2). Alors que dans les mortiers renforcés par 1 % de fibres (Figure III.3), la diminution varie entre 32, 42, 51, 59 et 71 % pour respectivement, 10, 20, 30, 40 et 50 % de substitution à l'âge de 7 jours; alors qu'à 28 jours, elle varie entre 35, 46, 48, 60 et 68 % par rapport au mélange témoin  $MP_{0/1}$ . Dans les mortiers renforcés par 2 % de fibres (Figure III.4), ce taux est de l'ordre de 41, 48, 55, 65 et 75 % pour respectivement, 10, 20, 30, 40 et 50 % de substitution, à 7 jours et de l'ordre de 40, 49, 55, 66 et 74 % à 28 jours d'âge, par rapport au mélange témoin  $MP_{0/2}$ . A travers ces résultats, il est constaté qu'en ajoutant le plâtre recyclé par substitution du plâtre commercialisé, on risque de réduire la résistance à la flexion des mortiers. La réduction est considérable, surtout avec les taux de substitution élevés. La présence d'un retardateur de prise dans la composition du plâtre recyclé influe certainement sur le comportement mécanique des mortiers et puisque, nous possédant une fiche technique de ce produit qui peut révéler d'autres constituants, l'interprétation de ces résultats n'est pas facile. Et aussi puisqu'aucune étude n'a été faite sur ce sujet, il est difficile de juger ces résultats, mais il est important de trouver les combinaisons qui peuvent donner des performances

mécaniques semblables à celles des mortiers de plâtre témoins, mais avec l'addition des fibres et de plâtre recyclé.

### b. Effet de l'addition des fibres

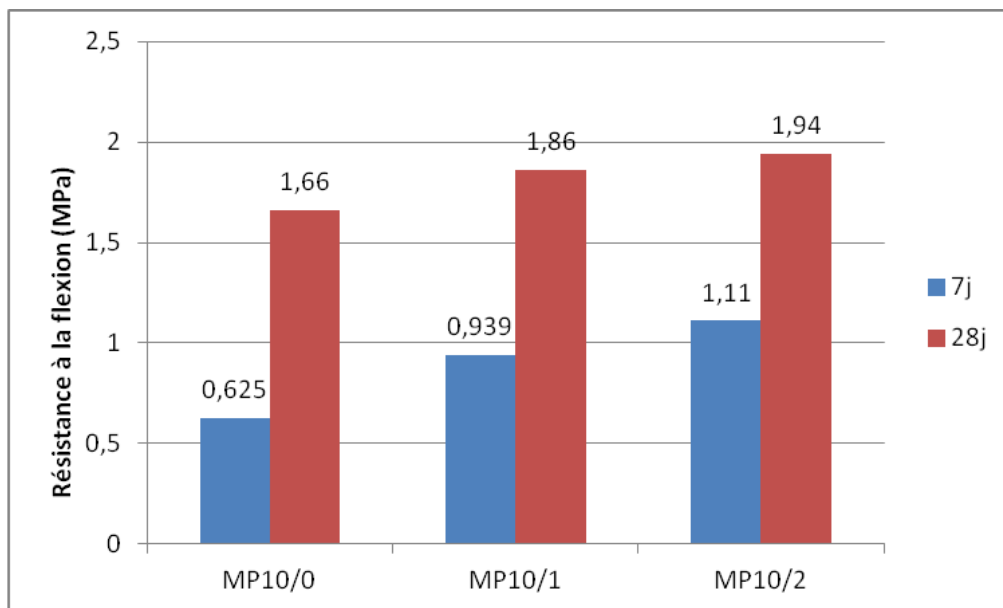
Pour voir l'effet des fibres, les figures III.5-III.10 sont tracées afin de schématiser la variation de la résistance en flexion des mortiers en fonction du dosage de fibres pour les différentes compositions. Selon ces figures, il est remarqué que l'introduction de fibres a amélioré significativement la résistance à la flexion à 7 jours et à 28 jours des mortiers testés. L'effet de fibres sur le comportement en flexion est bien détecté sur tous les mortiers, ce qui est confirmé dans plusieurs travaux réalisés sur le plâtre renforcé par des fibres de différentes natures (Djoudi et al., 2009; Carmen et al., 2017; Rachedi et al., 2018; Romero-Gómez et al., 2021).



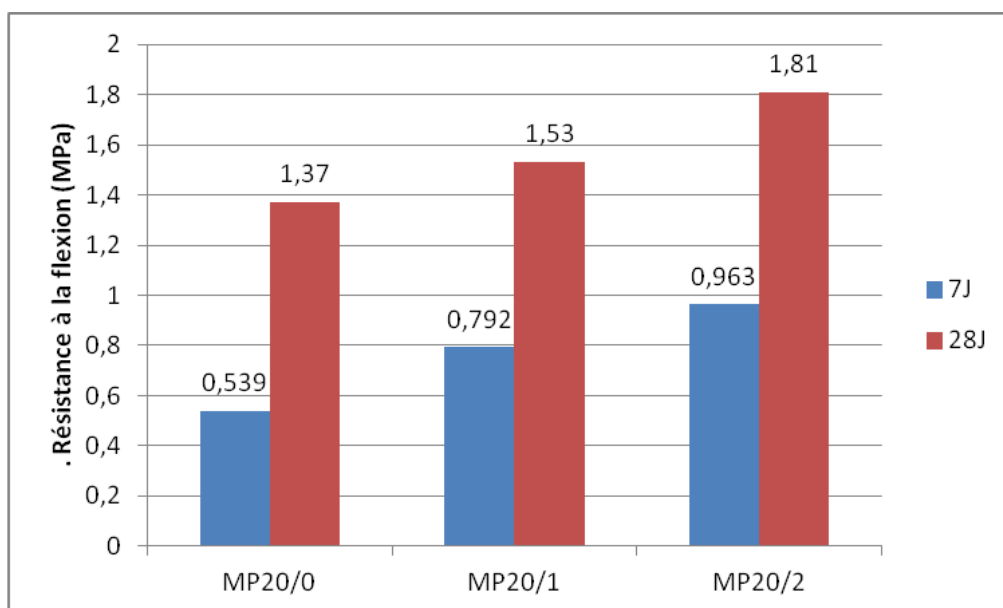
**Figure.III.5.** Résistance à la flexion des mortiers témoins sans plâtre recyclé.

Le pourcentage d'amélioration de la résistance à la flexion du mortier témoin sans plâtre recyclé varie entre 21 % pour 1 % de fibres à 66 % pour 2 % de fibres à l'âge de 7 jours et entre 20 et 35 % à l'âge de 28 jours, par rapport au mélange témoin sans fibres MP<sub>0/0</sub> (Figure III.5). Alors que pour les mortiers préparés avec 10 % de plâtre recyclé, l'amélioration varie entre 55 et 78 % respectivement à l'âge de 7 jours et entre 12 et 17 % à 28 jours d'âge, par rapport au mélange MP<sub>10/0</sub> (Figure III.6). Pour les mortiers formulés à raison de 20 % de substitution, cette amélioration est respectivement entre 47 et 79 % à 7 jours et entre 12 et 32 % à 28 jours, par rapport à la formulation MP<sub>20/0</sub> (Figure III.7). Tandis que les mortiers

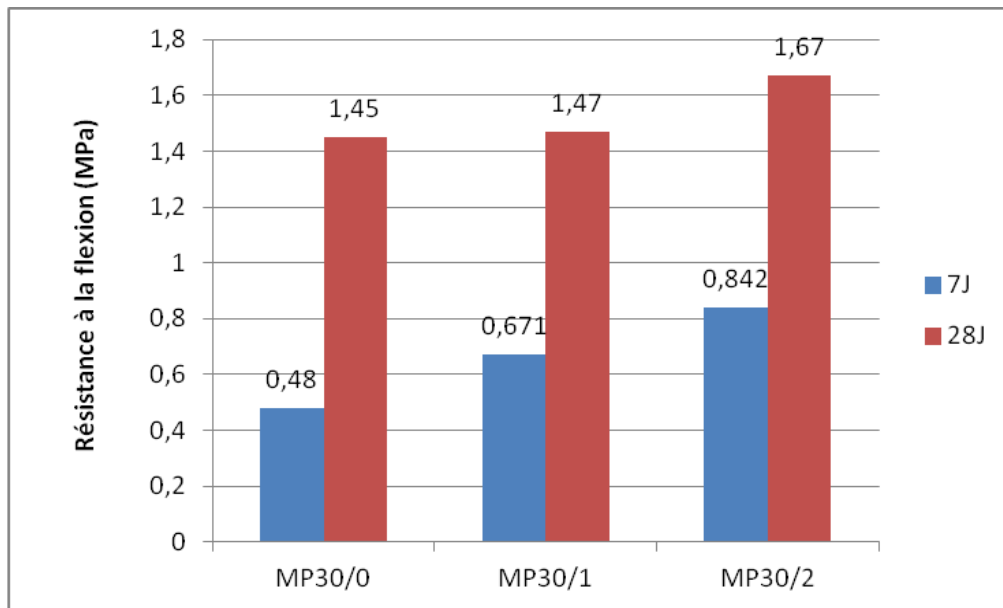
préparés avec 30 % du plâtre recyclé ont enregistré une amélioration de l'ordre de 40 % pour 1 % de fibres et de 75 % pour 2 % de fibres à l'âge de 7 jours et respectivement 2 et 15 %, à 28 jours par rapport au mortier MP<sub>30/0</sub> (Figure III.8). Avec 40 % du plâtre recyclé, le taux d'amélioration a atteint 51 % pour 1 % de fibres et 77 % pour 2 % de fibres à l'âge de 7 jours et 18 et 32 % à l'âge de 28 jours, par rapport au mélange MP<sub>40/0</sub> (Figure III.9). Alors qu'avec 50 % de substitution du plâtre, ce taux passe de 32 à 60 % pour respectivement 1 % et 2 % de fibres, à 7 jours et de 42 à 58 % à 28 jours par rapport au mélange MP<sub>50/0</sub> (Figure III.10).



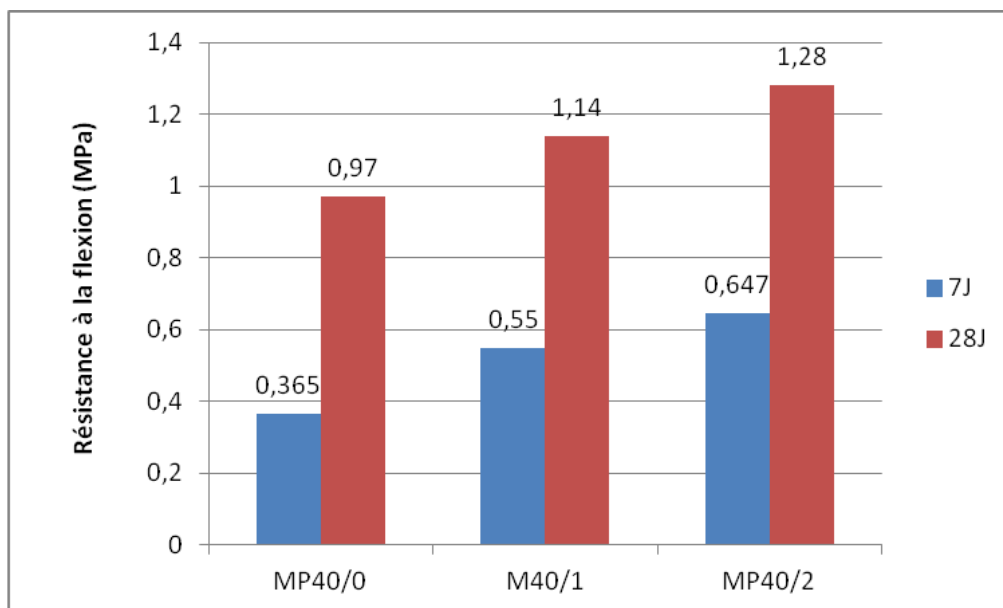
**Figure.III.6.** Résistance à la flexion de mortier MP<sub>10</sub> avec et sans fibres.



**Figure.III.7.** Résistance à la flexion de mortier MP<sub>20</sub> avec et sans fibres.



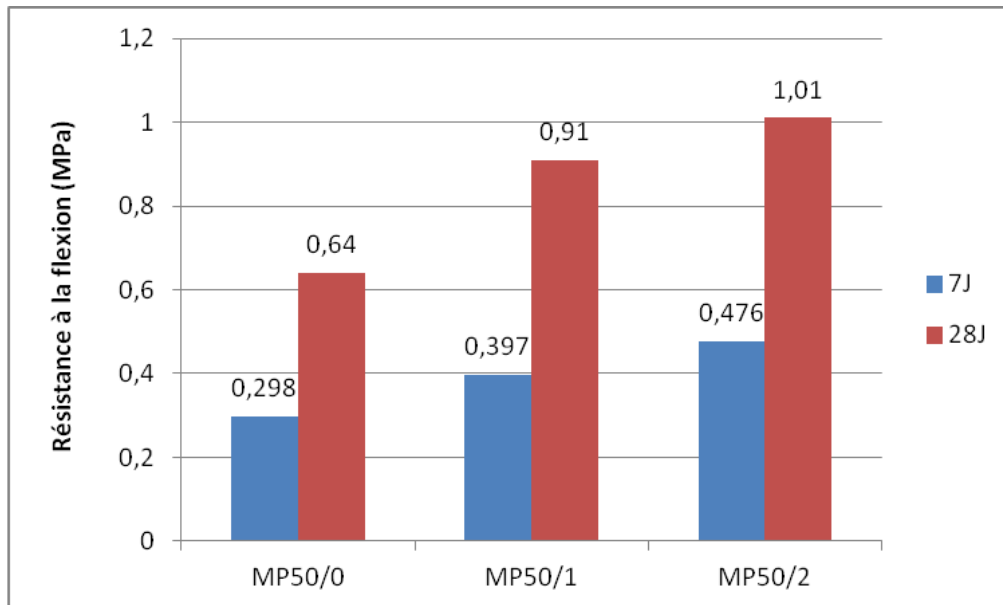
**Figure.III.8.** Résistance à la flexion de mortier MP<sub>30</sub> avec et sans fibres.



**Figure.III.9.** Résistance à la flexion de mortier MP<sub>40</sub> avec et sans fibres.

D'après tous ces résultats, il est bien remarqué que l'ajout de fibres au mortier du plâtre a amélioré nettement la résistance à la flexion à 7 et à 28 jours; où la résistance est proportionnelle au pourcentage de fibres. Selon l'étude de **Bendjillali et al. (2022)**, qui a utilisé le même type de fibres, la contribution bénéfique des fibres sur la résistance à la flexion est due à leur bonne capacité de couturer la fissuration et donc d'assurer le transfert de la charge de la matrice écrasée aux fibres et aussi à la longueur des fibres de 3 cm qui semble

être suffisante pour assurer un meilleur encrage à la matrice. L'effet positif des fibres sur la résistance à la flexion peut être contribué aussi à la bonne adhérence entre le mortier et les fibres.



**Figure.III.10.** Résistance à la flexion de mortier MP<sub>50</sub> avec et sans fibres.

### 3.2.2. Résistance à la compression

Les valeurs obtenues pour les résistances à la compression des différentes compositions sont schématisées sur la figure III.11, pour l'âge de 7 et de 28 jours. Selon cette figure, il est constaté que la résistance à la compression est meilleure à l'âge de 28 jours pour toutes les compositions, ce qui confirme la bonne maturation des mortiers sous les conditions de conservation du laboratoire ( $T= 25\text{ °C}$  et 35 % HR). Il est bien visible que le comportement en compression à 7 jours et aussi à 28 jours des mortiers confectionnés par un taux de substitution au dessous de 40 % du plâtre recyclé est comparable au comportement des mortiers témoins préparés sans aucune substitution. Alors qu'au-delà de 40 % de substitution, les valeurs de la résistance à la compression sont beaucoup plus faibles.

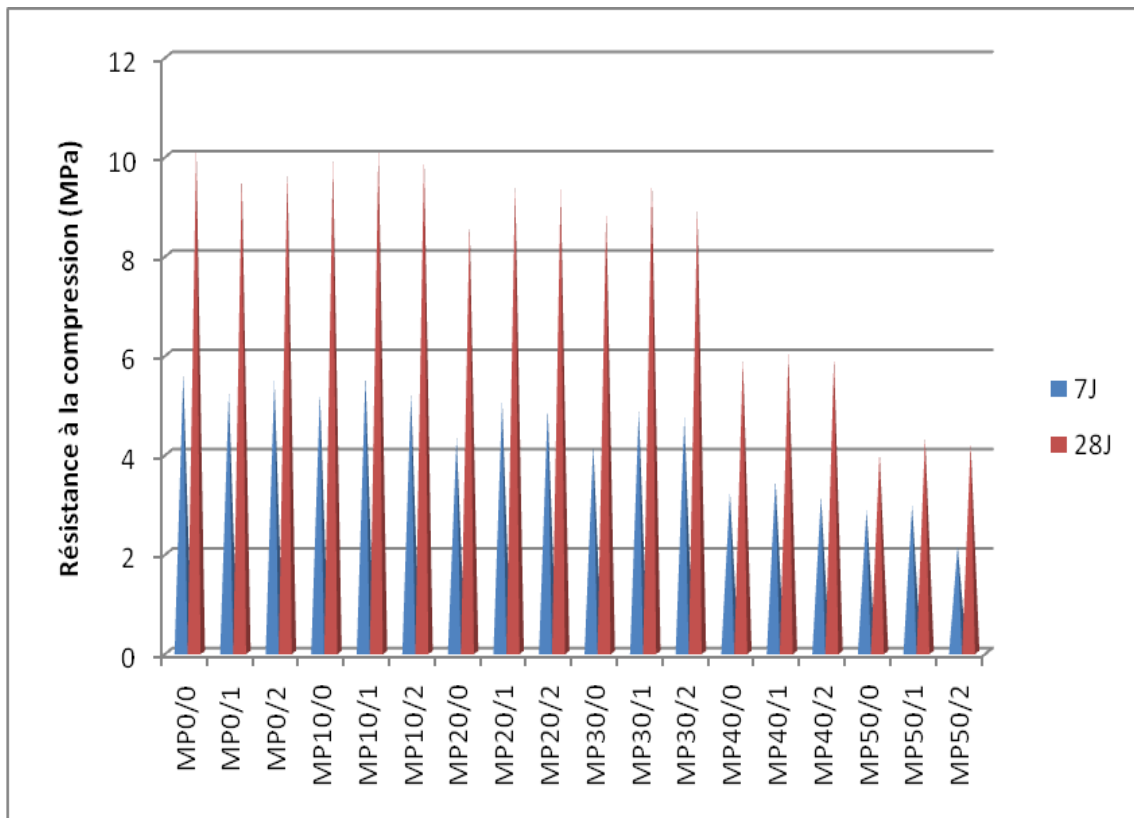


Figure.III.11. Variation de la résistance à la compression des mortiers à 7 et à 28 j d'âge.

**a. Effet de la substitution du plâtre**

Les figures III.12-III.14 schématisent graphiquement la variation de la résistance en compression respectivement pour les compositions sans fibres, les compositions préparées avec 1 % de fibres et celles avec 2 % de fibres.

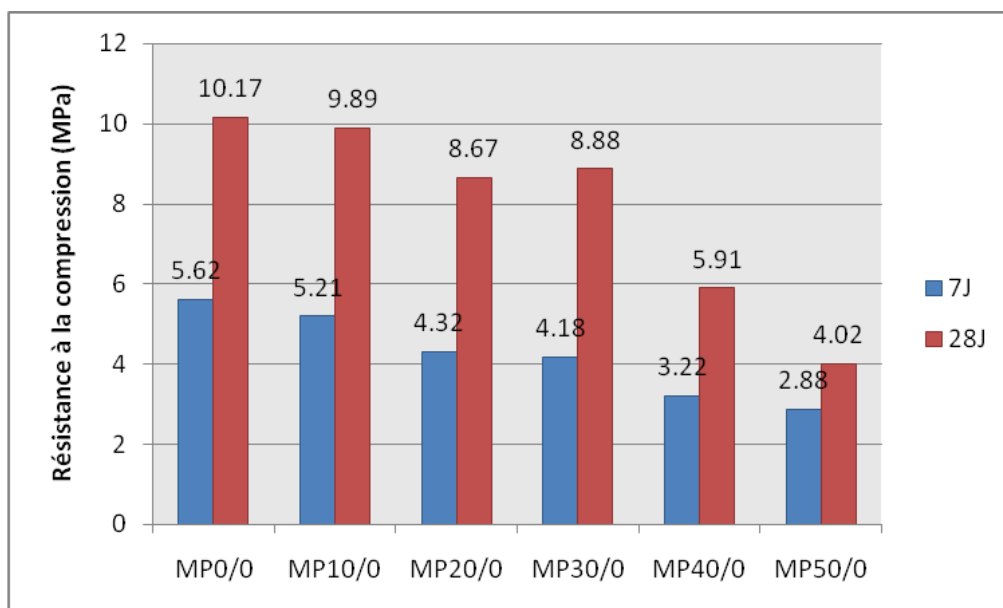
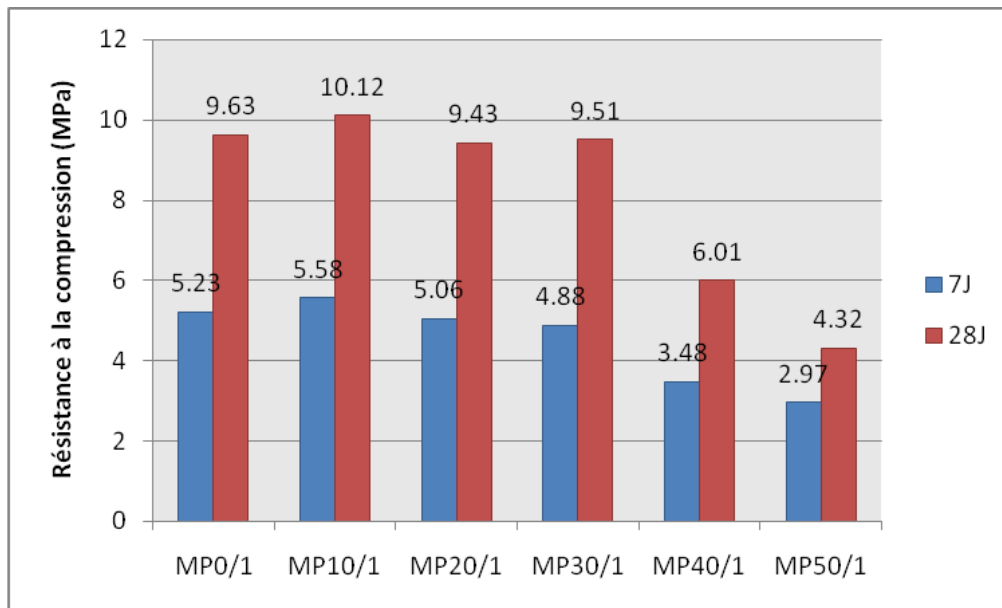
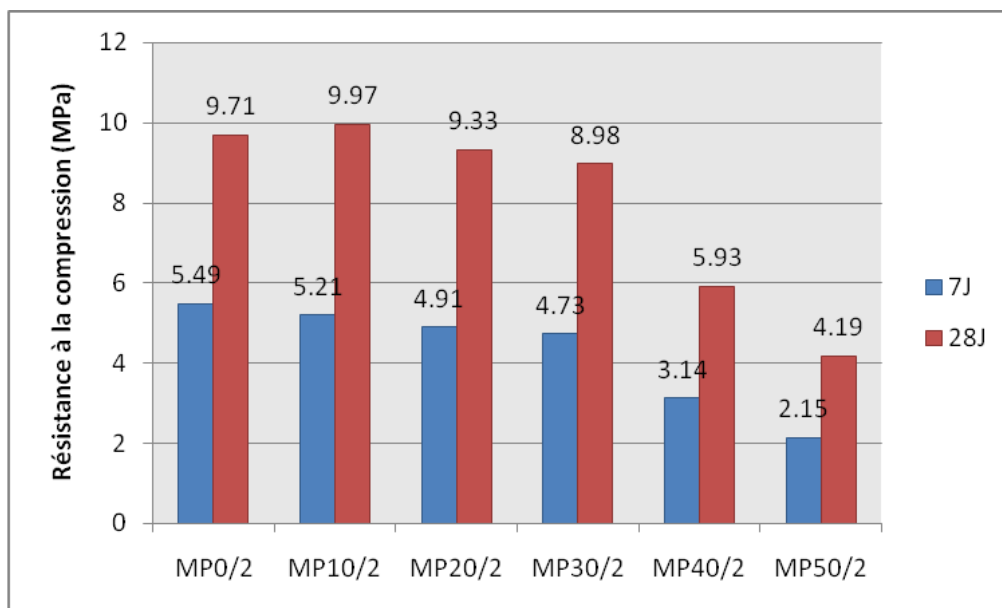


Figure.III.12. Résistance à la compression des mortiers sans fibres.



**Figure.III.13.** Résistance à la compression des mortiers renforcés par 1 % de fibres.



**Figure.III.14.** Résistance à la compression des mortiers renforcés par 2 % de fibres.

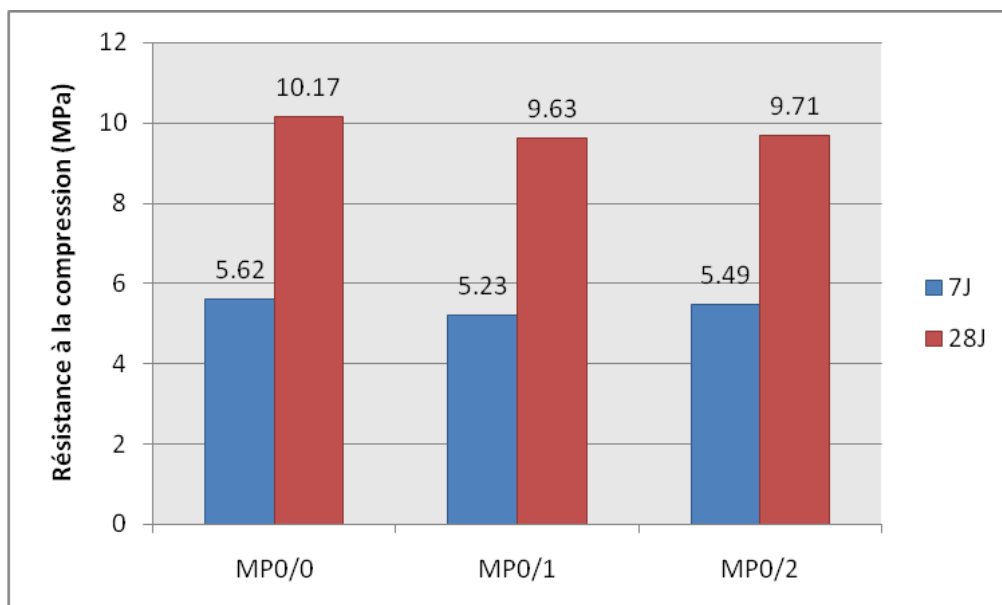
En examinant les figures III.12-III.14, il semble que la substitution du plâtre commercialisé par le plâtre recyclé, engendre une légère réduction de la résistance à la compression à 7 jours et celle à 28 jours des mortiers. La réduction dans les mortiers sans fibres est de l'ordre de 7 % pour 10 % de substitution et 49 % pour 50 % de substitution par rapport au mélange  $MP_{0/0}$  pour la résistance à 7 jours et entre respectivement 3 et 61 % pour la résistance à 28 jours (Figure III.12). Alors que dans les mortiers renforcés par 1 % de fibres (Figure III.13), la réduction de la résistance a atteint 43 et 55 % par rapport au mélange témoin  $MP_{0/1}$ ,

respectivement à 7 et 28 jours pour une substitution de 50 %. D'après la figure III.14, le taux le plus élevé de la réduction de la résistance à la compression des mortiers renforcés par 2 % de fibres est obtenu toujours avec 50 % de substitution, il varie entre 61 % à 7 jours et 57 % à 28 jours d'âge, par rapport au mélange témoin MP<sub>0/2</sub>.

Selon tous les résultats obtenus, il est constaté que la substitution du plâtre commercialisé par le plâtre recyclé a un effet non considérable sur le comportement en compression, contrairement à son effet sur le comportement en flexion.

### b. Effet de l'addition des fibres

Pour voir l'effet des fibres sur la résistance à la compression, les figures III.15- III.20 sont tracées, pour les mélanges avec les différents teneurs de substitution, avec et sans fibres. Généralement, il est remarqué que l'introduction des fibres n'affecte pas la résistance à la compression des mortiers de plâtre sans et avec plâtre recyclé et cela pour les deux âges, 7 et 28 jours. Le pourcentage d'amélioration ne dépasse pas 15 %, probablement due à la mauvaise mise en œuvre des mélanges en présence de fibres et possible aussi à cause de l'orientation des fibres qui était aléatoire. La plus part des recherches de la littérature (Rachedi et al., 2018) confirment cette conclusion pour les matériaux renforcés de fibres. Selon plusieurs études (Carmen et al., 2017; Bendjillali et al., 2022), l'effet des fibres sur la résistance à la compression des mortiers de ciment est positif, mais il est moins important que leur effet sur la résistance à la flexion.



**Figure.III.15.** Résistance à la compression des mortiers témoins sans plâtre recyclé.

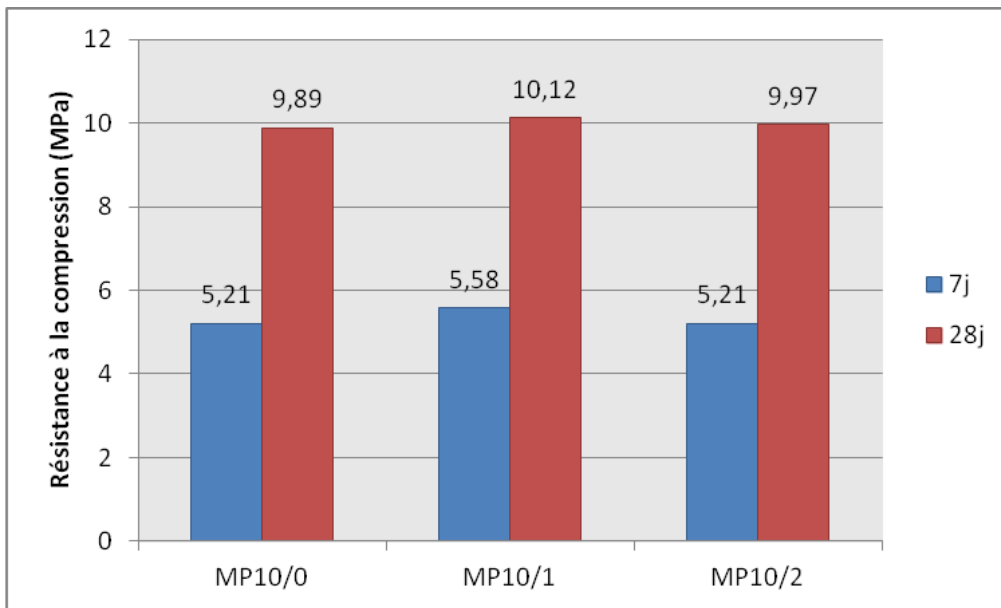


Figure.III.16. Résistance à la compression de mortier MP<sub>10</sub> avec et sans fibres.

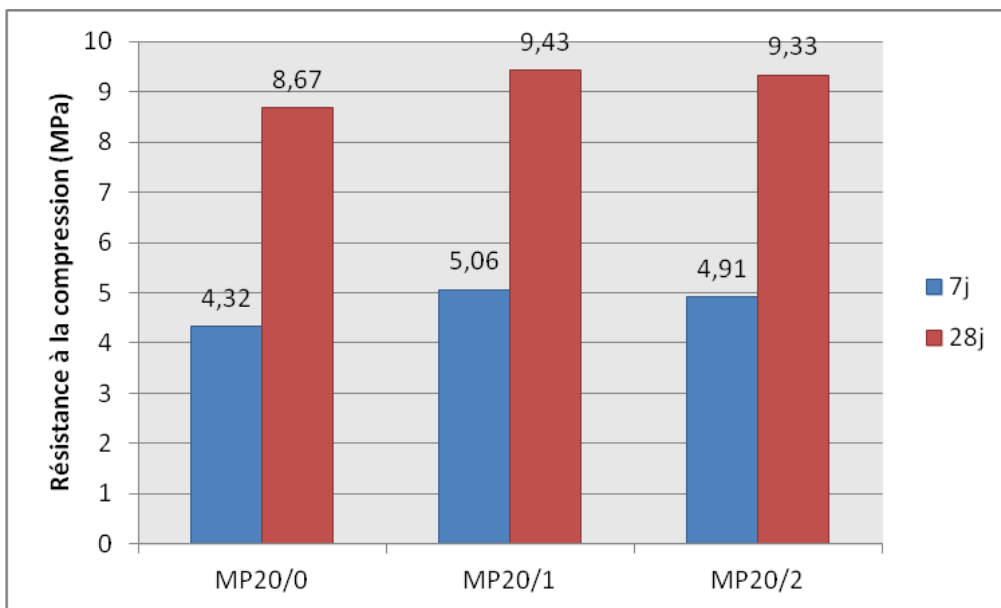
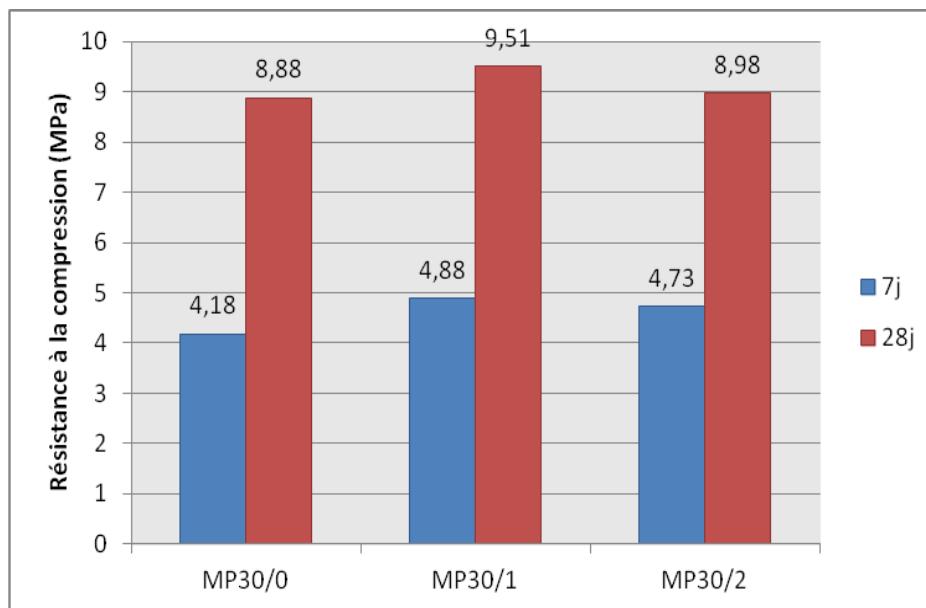
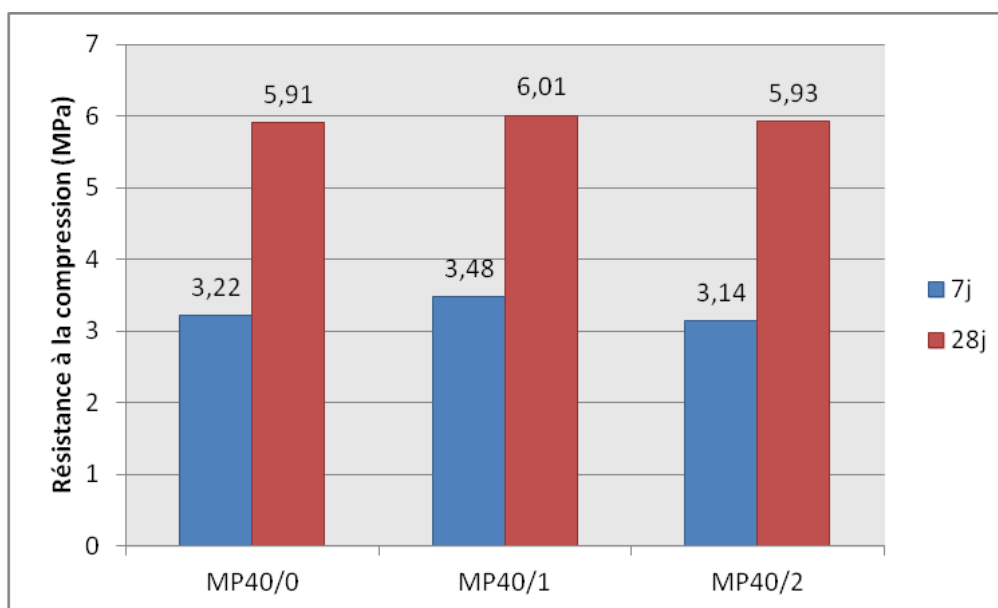


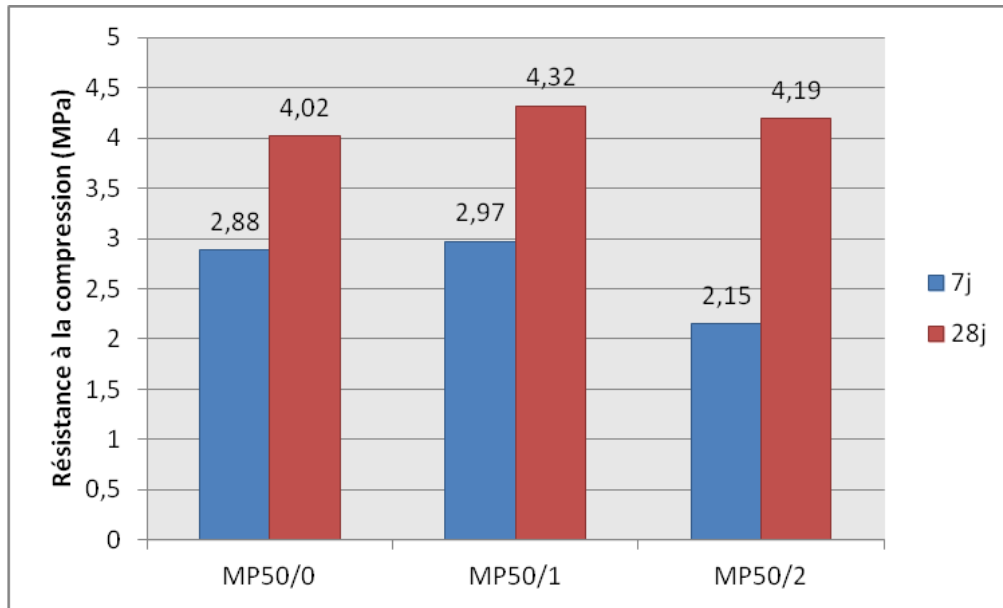
Figure.III.17. Résistance à la compression de mortier MP<sub>20</sub> avec et sans fibres.



**Figure.III.18.** Résistance à la compression de mortier MP<sub>30</sub> avec et sans fibres.



**Figure.III.19.** Résistance à la compression de mortier MP<sub>40</sub> avec et sans fibres.



**Figure.III.20.** Résistance à la compression de mortier  $MP_{50}$  avec et sans fibres.

### 3.3 Etude du retrait

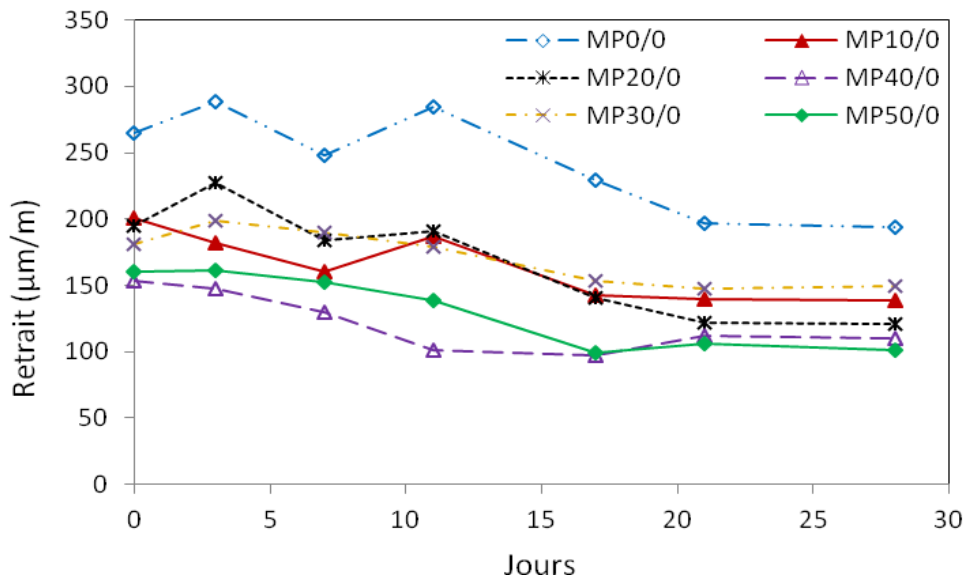
Le phénomène est généralement dû à l'évaporation d'une quantité de l'eau de gâchage. Dans le cas du plâtre, l'hydratation ne nécessite qu'une petite quantité de l'eau de gâchage et la plus grande partie de cette eau est nécessaire alors à la maniabilité du mélange pour réaliser un bon malaxage, mais elle s'évapore par la suite (**Kassou, 2016**). Dans notre travail, pour chaque formulation testée, nous avons mesuré les variations dimensionnelles de trois éprouvettes prismatiques ( $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ ) jusqu'à l'âge de 28 jours.

#### 3.3.1 Effet de la substitution du plâtre sur le retrait

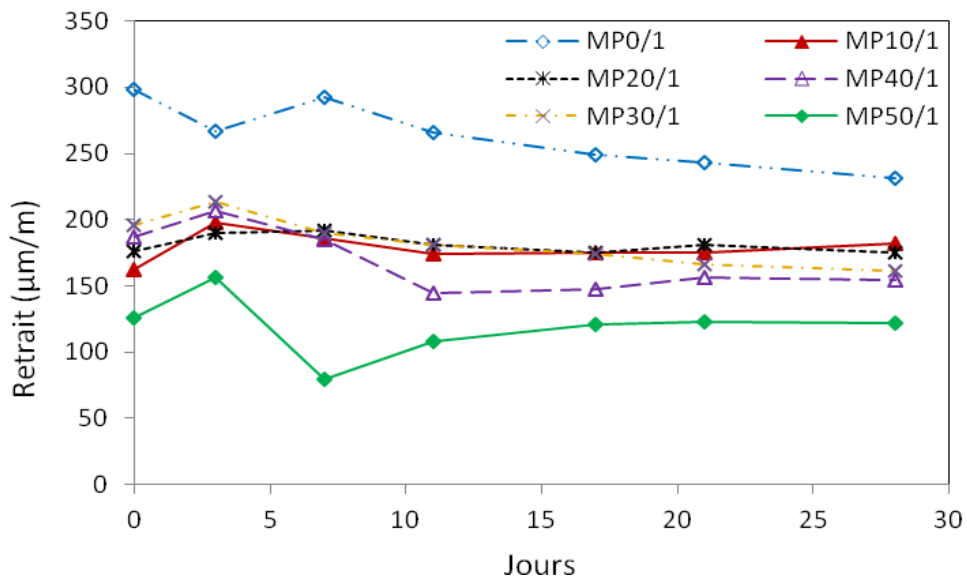
Pour voir l'effet de taux de substitution sur le retrait, les figures III.22-III.24 sont tracées, pour les mélanges avec les différentes teneurs de substitution, avec et sans fibres. Généralement, il est remarqué que la substitution du plâtre commercialisé par le plâtre recyclé a influé positivement sur le retrait c'est-à-dire, il y a une diminution du retrait de toutes les compositions avec et sans fibres, par rapport aux mortiers témoins. Cette diminution est considérable et elle croît avec l'augmentation du taux de substitution.

Il est observé selon la figure III.22, que le mélange  $MP_{40/0}$  a présenté le retrait le plus faible jusqu'à 17 jours, par rapport aux autres mélanges, puis au-delà de 17 jours, le retrait le plus faible est enregistré dans le mortier avec le grande teneur de substitution ( $MP_{50/0}$ ). Il est remarqué que les compositions préparées avec les taux de substitution de 10, 20 et 30 % avec l'addition de 1 % de fibres ont enregistré presque le même retrait durant tous les 28 jours de

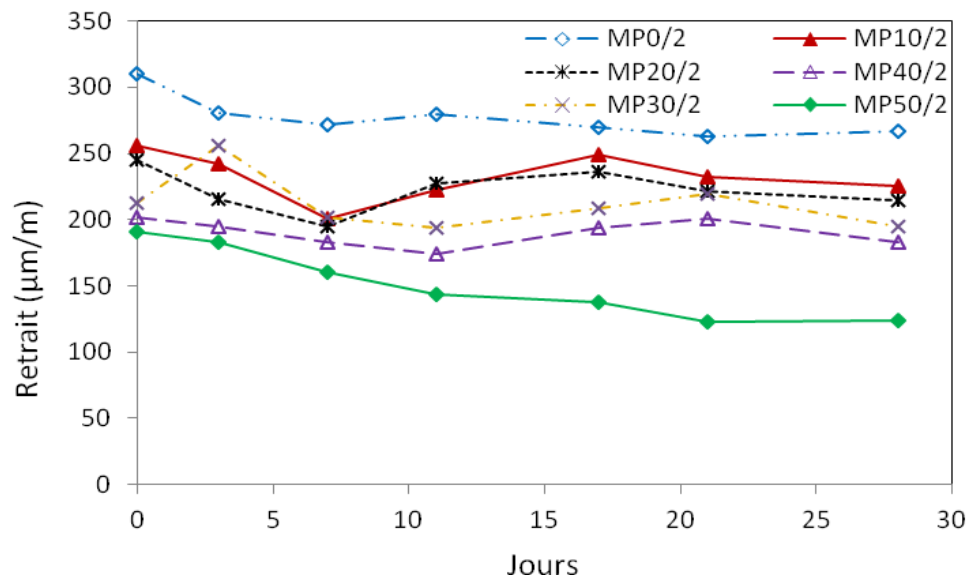
mesure (Figure III.23). D'après la figure III.24, la diminution de la valeur du retrait est significative au 7<sup>ème</sup> jour pour tous les mélanges.



**Figure.III.22.** Variation du retrait en fonction d'âge pour les mortiers sans fibres.



**Figure.III.23.** Variation du retrait pour les mortiers du plâtre avec 1 % de fibres.



**Figure.III.24.** Variation du retrait pour mortier du plâtre avec 2 % de fibres.

### 3.3.2 Effet des fibres sur le retrait

Pour voir l'effet des fibres, les figures III.25-III.30 montrent la variation du retrait en fonction de l'âge pour les compositions avec respectivement 0, 10, 20, 30, 40 et 50 % de substitution du plâtre. Selon ces figures, il est remarqué que l'ajout de fibres a influé négativement sur le retrait, c'est-à-dire il y a une augmentation du taux de retrait des compositions fibrées par rapport aux mortiers témoins sans fibres et cela pendant les 28 jours de mesure, cela est peut-être due à la création des pores causée par la mauvaise distribution des fibres dans la matrice plâtre. Il était remarqué durant nos essais que les mélanges avec fibres ont été plus fermes et ont demandé plus de temps pour leur mise en place dans les moules, par rapport aux mélanges sans fibres. Cette remarque pratique justifie certainement cet effet négatif des fibres sur le retrait, car il est bien connu qu'un matériau non proprement mis en œuvre, risque d'avoir une porosité importante dans sa masse et par la suite son retrait devient plus important. Il faut beaucoup de recherche sur ce sujet, pour déterminer exactement les dosages et les longueurs bénéfiques des fibres.

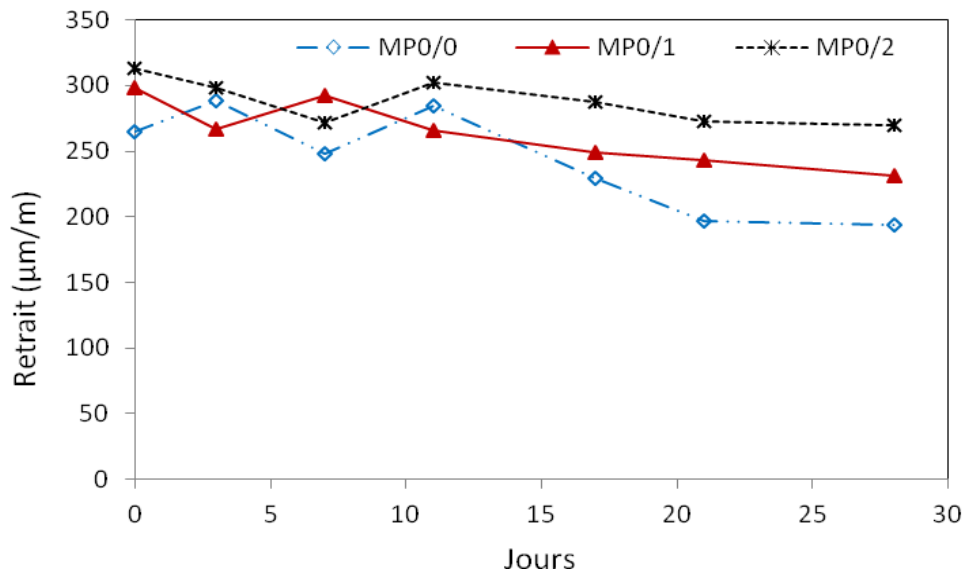


Figure.III.25. Variation du retrait en fonction de l'âge pour les mortiers témoins.

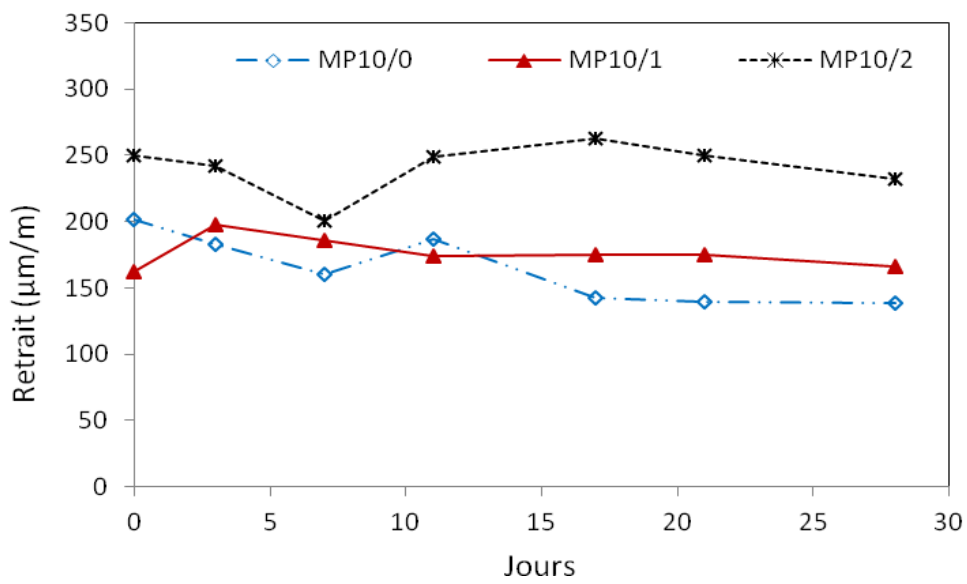


Figure.III.26. Variation du retrait pour le mortier MP<sub>10</sub> avec et sans fibres.

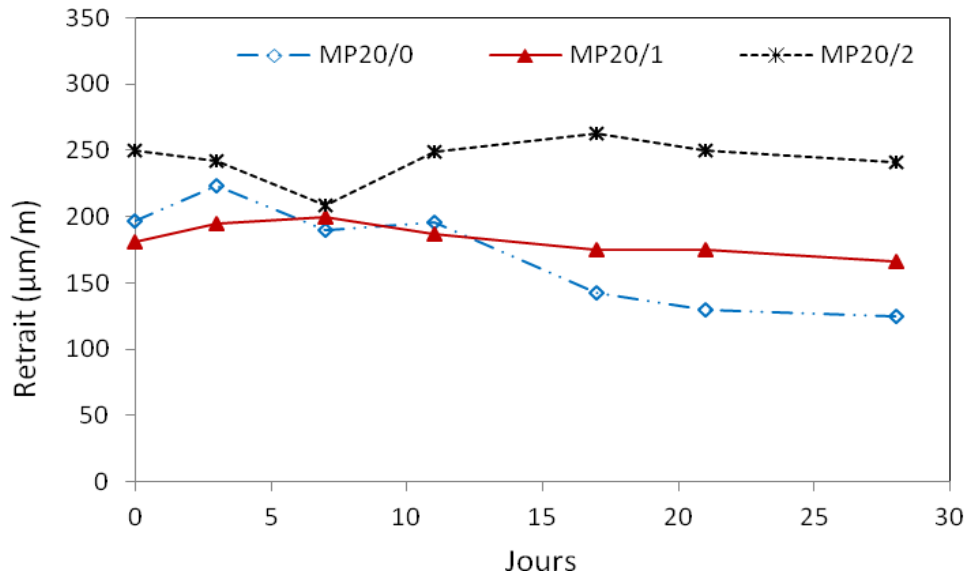


Figure.III.27. Variation du retrait pour le mortier MP<sub>20</sub> avec et sans fibres.

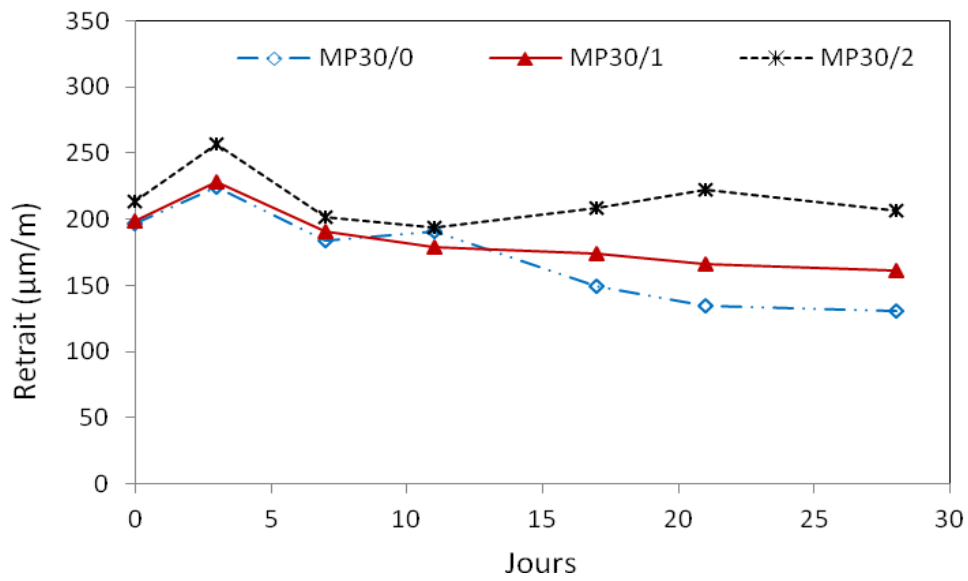


Figure.III.28. Variation du retrait pour le mortier MP<sub>30</sub> avec et sans fibres.

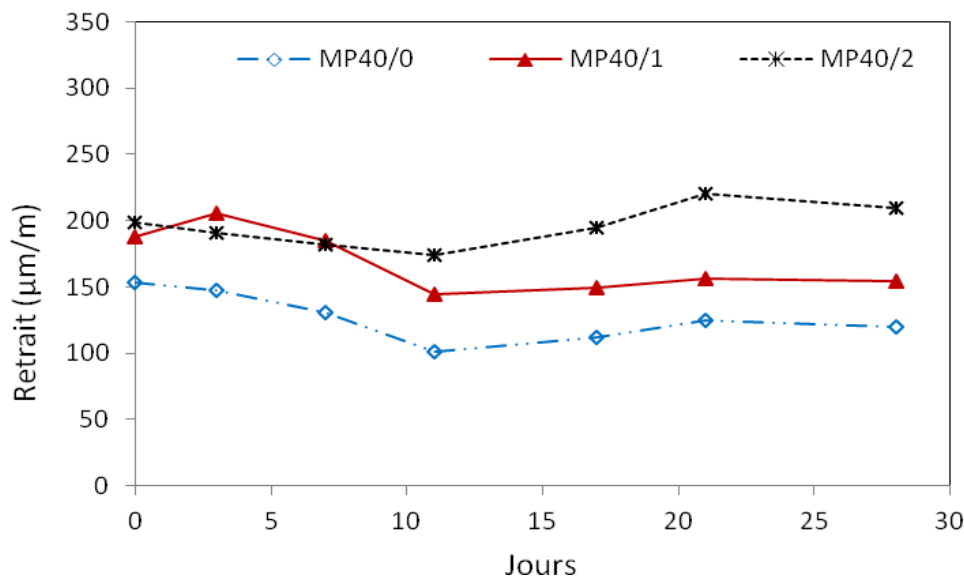


Figure.III.29. Variation du retrait pour le mortier MP<sub>40</sub> avec et sans fibres.

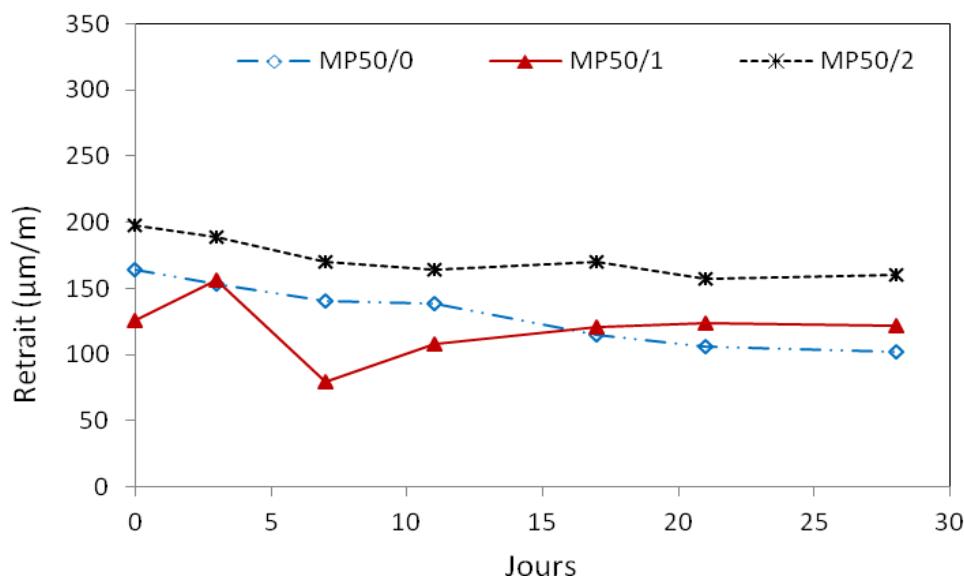


Figure.III.30. Variation du retrait pour le mortier MP<sub>50</sub> avec et sans fibres.

### 3.4 Etude des propriétés thermiques

Il est très important dans notre travail d'étudier les propriétés thermiques des mortiers de plâtres afin de s'assurer de la possibilité de son emploi comme un matériau d'isolation thermique. Des mesures de conductivité thermique et de la chaleur spécifique ont été effectuées au laboratoire de Recherche de Génie Civil de l'université d'Abderrahmane Mira à Bejaïa, par la technique de la sonde à chocs, sur des échantillons de mortiers de plâtre ( $7 \times 7 \times 7 \text{ cm}^3$ ) âgés de 14 jours. Les éprouvettes ont été devisées en deux pour permettre de faire l'essai sur un échantillon sandwich. Les résultats des propriétés thermiques des

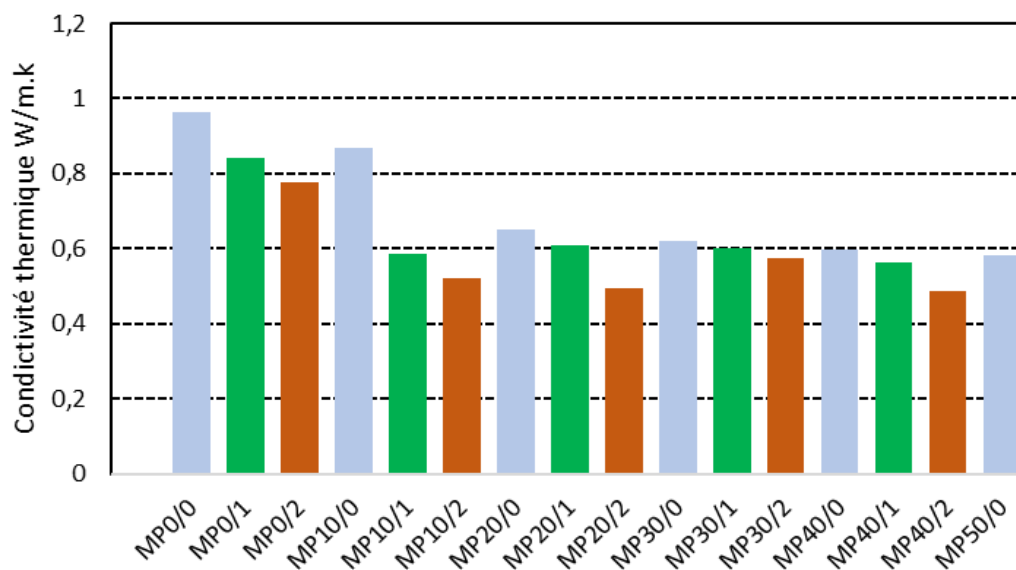
mortiers de plâtre sont représentés sur le tableau III.I.

**Tableau III.I :** Variation des propriétés thermiques pour les différentes compositions

Composition	Conductivité thermique (W/mK)	Chaleur spécifique (kJ/m <sup>3</sup> K)	Temperature (°C)
MP <sub>0/0</sub>	<b>0.963</b>	<b>1217</b>	<b>28.09</b>
MP <sub>0/1</sub>	<b>0.841</b>	<b>1184</b>	<b>28.15</b>
MP <sub>0/2</sub>	<b>0.778</b>	<b>1371</b>	<b>28.44</b>
MP <sub>10/0</sub>	<b>0.868</b>	<b>892</b>	<b>28.59</b>
MP <sub>10/1</sub>	<b>0.584</b>	<b>853</b>	<b>29.08</b>
MP <sub>10/2</sub>	<b>0.520</b>	<b>952</b>	<b>28.63</b>
MP <sub>20/0</sub>	<b>0.651</b>	<b>844</b>	<b>29.07</b>
MP <sub>20/1</sub>	<b>0.610</b>	<b>789</b>	<b>28.92</b>
MP <sub>20/2</sub>	<b>0.495</b>	<b>1352</b>	<b>29.03</b>
MP <sub>30/0</sub>	<b>0.621</b>	<b>837</b>	<b>28.84</b>
MP <sub>30/1</sub>	<b>0.602</b>	<b>894</b>	<b>28.81</b>
MP <sub>30/2</sub>	<b>0.574</b>	<b>940</b>	<b>29.07</b>
MP <sub>40/0</sub>	<b>0.598</b>	<b>957</b>	<b>28.96</b>
MP <sub>40/1</sub>	<b>0.562</b>	<b>905</b>	<b>28.98</b>
MP <sub>40/2</sub>	<b>0.487</b>	<b>893</b>	<b>29.13</b>
MP <sub>50/0</sub>	<b>0.581</b>	<b>1253</b>	<b>29.15</b>

### 3.4.1. Conductivité thermique

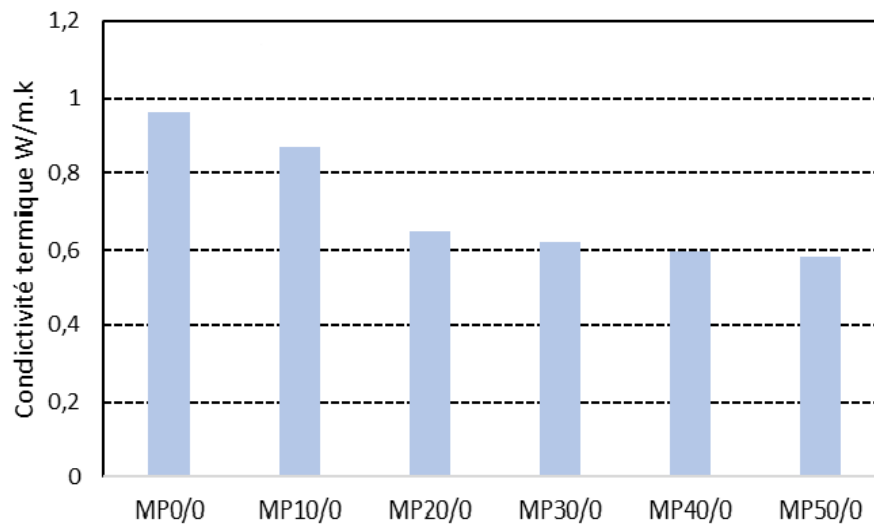
La variation de la conductivité thermique de toutes les compositions étudiées sont données dans la figure.III.31. Mais par la suite, l'effet de la substitution et l'effet des fibres seront discutés séparément.



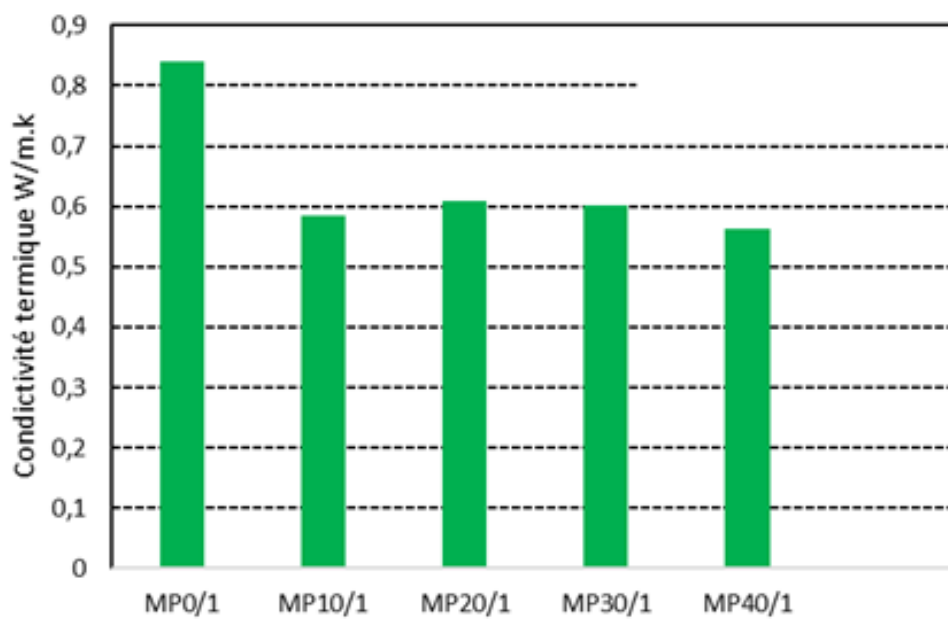
**Figure.III.31.** Variation de la conductivité thermique des mortiers de plâtre.

### a) Effet de la substitution du plâtre sur la conductivité thermique

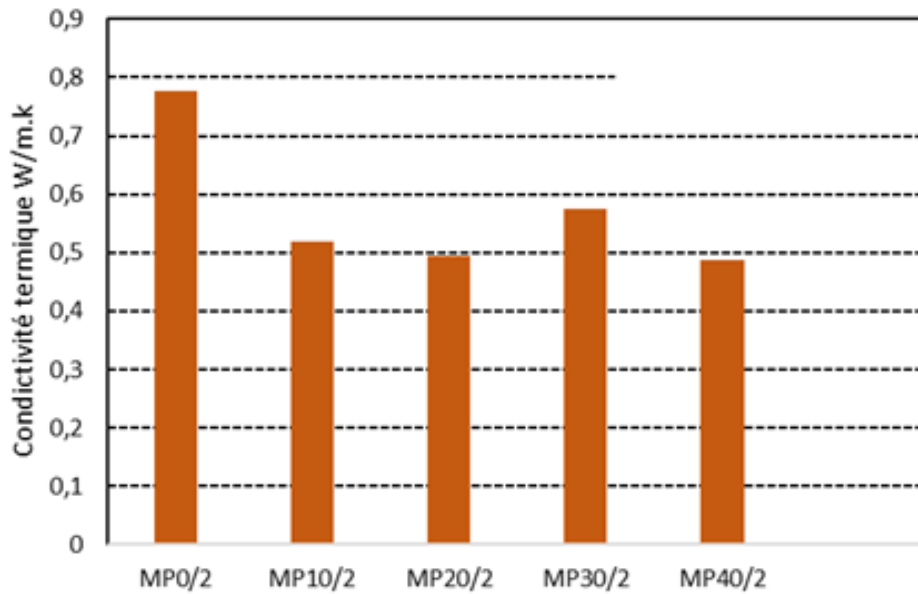
Pour voir d'une façon plus nette l'effet de la substitution sur la conductivité thermique, nous avons tracé les figures III.32-III.34 pour respectivement, les mortiers sans fibres, ceux avec 1 et 2 % de fibres. Les résultats montrés sur ces figures, indiquent que la conductivité thermique diminue avec l'augmentation du pourcentage du plâtre recyclé, ce qui confirme que l'utilisation du plâtre recyclé a amélioré d'une façon très significative l'isolation thermique. La diminution dans les mortiers sans fibres est de l'ordre de 10, 32, 36, 38 et 40 % pour respectivement, les mortiers MP<sub>10/0</sub>, MP<sub>20/0</sub>, MP<sub>30/0</sub>, MP<sub>40/0</sub> et MP<sub>50/0</sub>, par rapport au mélange MP<sub>0/0</sub> (Figure III.32). Alors que dans les mortiers renforcés par 1 % de fibres (Figure III.33), la diminution varie entre 31 % pour MP<sub>10/1</sub>, 27 % pour MP<sub>20/1</sub>, 28 % pour MP<sub>30/1</sub> et 33 % pour MP<sub>40/1</sub>. D'après la figure III.34, la plus grande diminution de la conductivité thermique des mortiers renforcés par 2 % de fibres est obtenue avec 40 % de substitution, elle est de l'ordre de 38 % par rapport au mélange témoin MP<sub>0/2</sub>. Certainement avec 50 % de substitution, la diminution sera plus importante, mais nous n'avons pas de valeur.



**Figure III.32.** Variation de la conductivité thermique des compositions sans fibres.



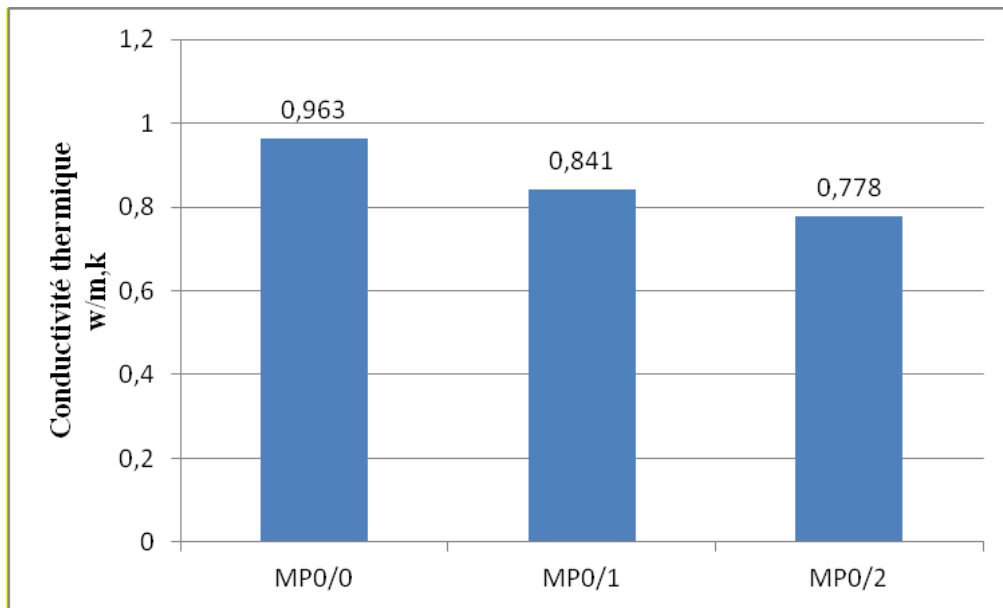
**Figure III.33.** Variation de la conductivité thermique des compositions avec 1 % fibres.



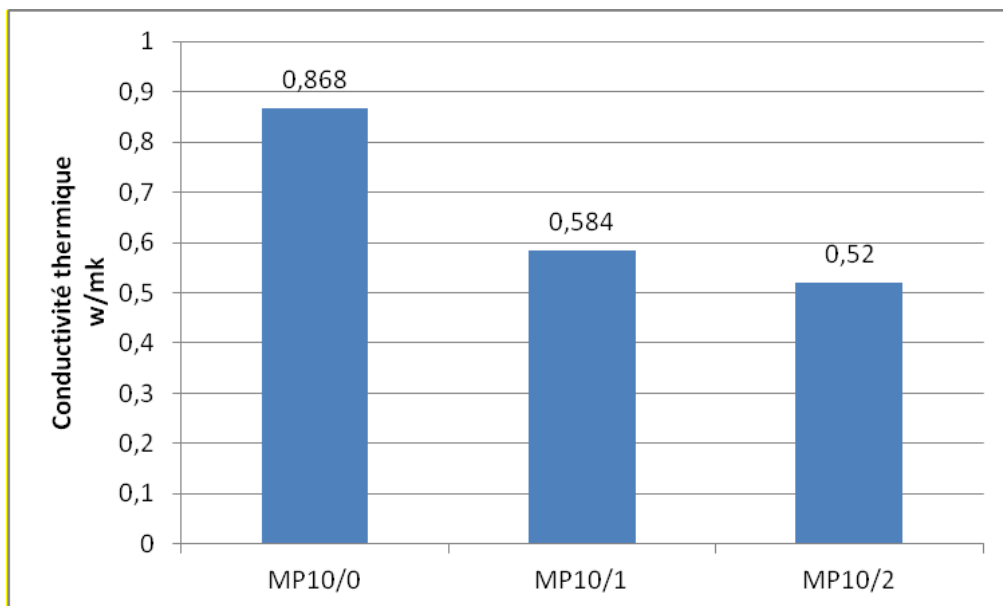
**Figure III.34.** Variation de la conductivité thermique des compositions avec 2 % fibres.

### **b) Effet de l'addition des fibres sur la conductivité thermique**

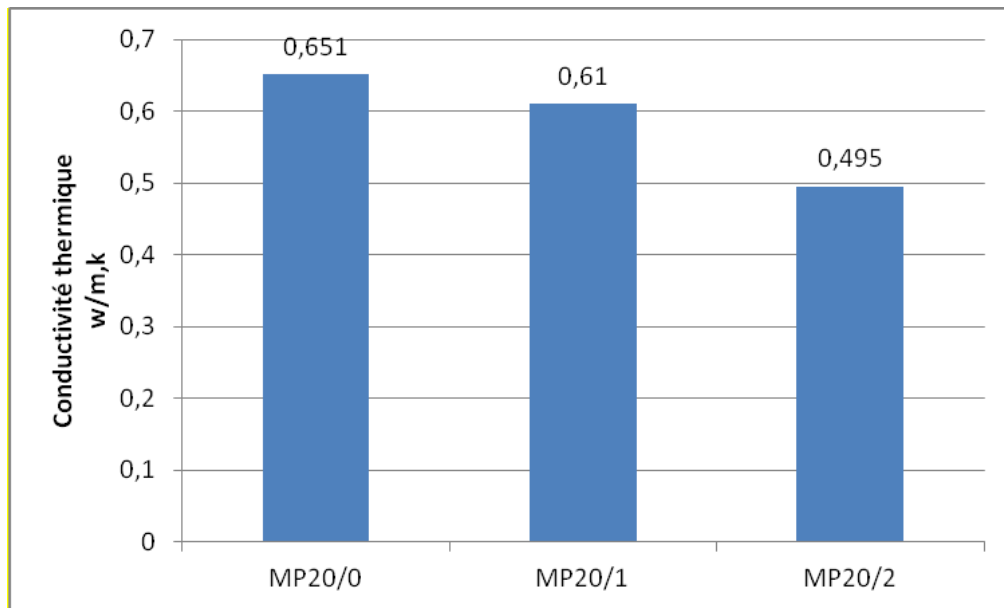
Les figures III.35-III.39 schématisent la variation de la conductivité thermique des mortiers avec et sans fibres pour respectivement les taux de substitution 0, 10, 20, 30, et 40 %. D'après ces figures, il est constaté que toujours une diminution de la conductivité thermique est détectée dans tous les mélanges avec fibres par rapport aux mélanges sans fibres. Généralement le pourcentage de diminution varie entre 12 et 34 % pour les mortiers renforcés par 1 % de fibres et entre 10 et 44 % pour les mortiers renforcés par 2 % de fibres. Ces résultats montrent que l'ajout de fibres aux différents mortiers de plâtre diminue la conductivité thermique, Donc l'utilisation de fibres synthétiques améliore nettement l'isolation thermique de ces matériaux. La plus part des recherches de la littérature (**Djoudi et al., 2009; Martias, 2011**) confirment cette conclusion pour les matériaux renforcés de fibres.



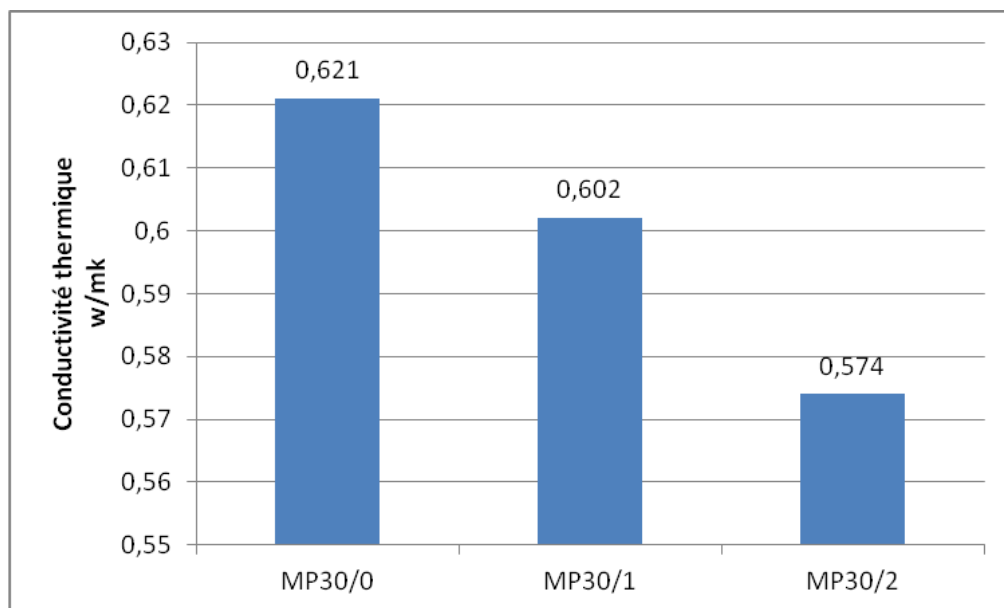
**Figure.III.35.** Variation de la conductivité thermique des mortiers témoins.



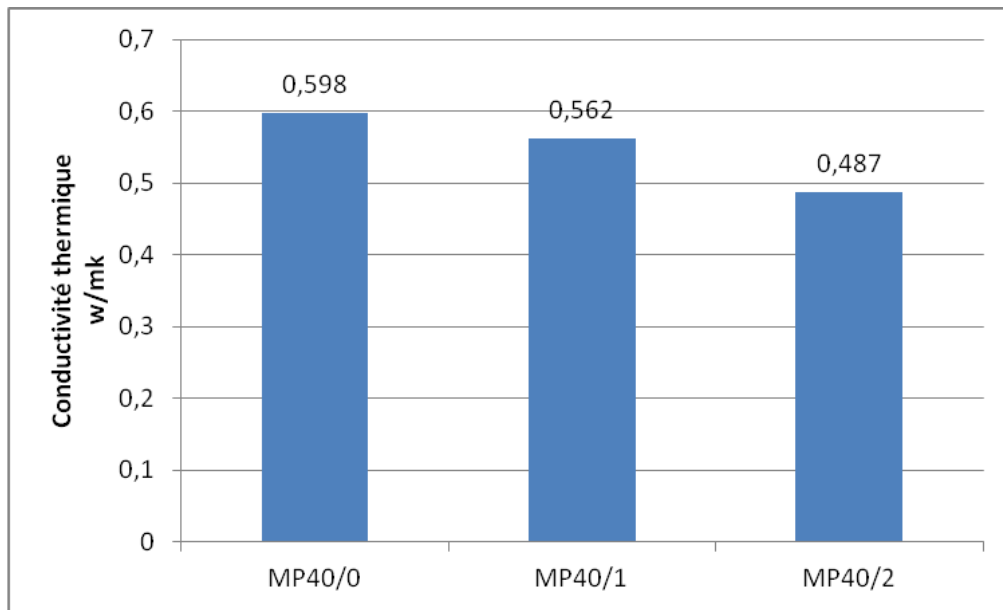
**Figure.III.36.** Variation de la conductivité thermique de la composition MP<sub>10</sub> avec et sans fibres.



**Figure.III.37.** Variation de la conductivité thermique de la composition  $MP_{20}$  avec et sans fibres.



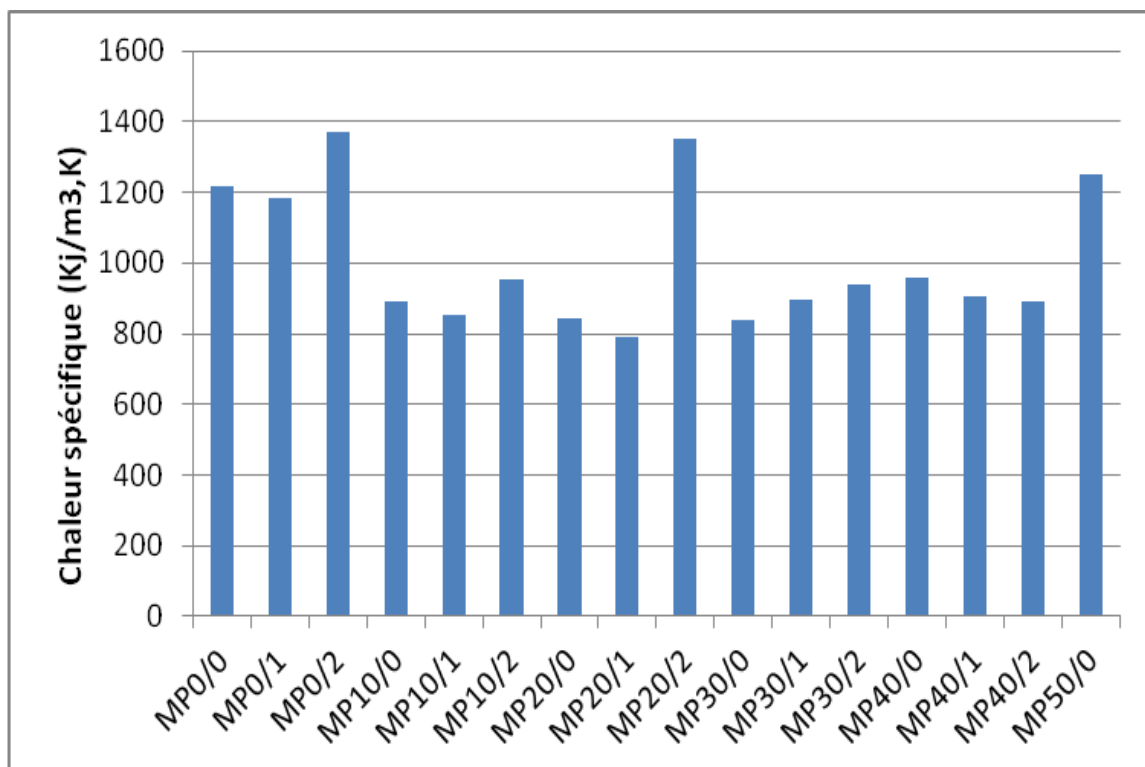
**Figure.III.38.** Variation de la conductivité thermique de la composition  $MP_{30}$  avec et sans fibres.



**Figure.III.39.** Variation de la conductivité thermique de la composition  $MP_{40}$  avec et sans fibres.

### 3.4.2. Chaleur spécifique

La variation de la chaleur spécifique des différents mortiers est donnée sur la figure Figure.III.40 ci-dessous.



**Figure.III.40.** Variation de la chaleur spécifique des mortiers de plâtre.

Il est montré selon la présente figure que généralement la chaleur spécifique est plus importante dans les mortiers témoins, obtenus sans substitution. Il est remarqué aussi que l'effet des fibres sur la chaleur spécifique n'est pas significatif. Nos résultats sont en accord avec les travaux de (Martias, 2011; Kassou, 2016) sur les composites en plâtre.

### 3.5 Conclusions

Les résultats obtenus dans ce chapitre montrent clairement les caractéristiques physico-mécaniques et thermiques des plâtre recyclé renforcé par des fibres synthétique. Les résultats montre que:

- Les plus hautes résistances à la flexion et à la compression sont atteintes au 28<sup>ème</sup> jour d'âge pour tous les mélanges.
- La substitution du plâtre par le plâtre recyclé a conduit à une diminution de la résistance mécanique des mortiers, notamment la résistance à la flexion.
- Les fibres ont amélioré, d'une façon très significative la résistance à la flexion.
- Le renforcement des mortiers de plâtre par les fibres n'a pas apporté une amélioration considérable sur leur comportement en compression.
- L'ajout de plâtre recyclé a diminué le retrait.
- Les fibres ont participé à l'augmentation du retrait des mortiers de plâtre.
- L'emploi du plâtre recyclé dans les mortiers a apporté une considérable amélioration de leur pouvoir d'isolation thermique par la réduction de leur conductivité thermique.
- La présence de fibres dans les mortiers de plâtre a un excellent effet sur leur capacité d'isolation thermique, en réduisant leur conductivité thermique.

# Conclusion

# Générale

## Conclusion générale

Le plâtre est un matériau de construction naturel et écologique, qui se prête facilement au recyclage. Par ce travail expérimental nous avons essayé de contribuer à la valorisation du déchet de plâtre et de voir la possibilité de son réintroduction dans les chaînes de fabrication des matériaux à base de plâtre. Pour cela une investigation expérimentale a été menée sur des échantillons à base de plâtre récupéré des décharges de matériaux de construction, dont les conclusions suivantes ont été prises:

- Le plâtre utilisé est un plâtre gros de construction de bonne qualité, mais il nécessite pour son emploi d'ajout d'un retardateur de prise à cause de sa prise rapide.
- A cause de la présence d'un retardateur de prise dans sa composition, le temps de prise du plâtre recyclé est très long.
- Le sable dunaire utilisé, en plus qu'il est disponible en grande quantité dans la région de Laghouat, il possède des propriétés acceptables pour fabriquer un bon mortier.
- Les résistances mécaniques à la flexion et à la compression, les plus élevées sont atteintes au 28<sup>ème</sup> jour d'âge pour tous les mortiers étudiés, ce qui confirme que les conditions de conservation n'ont aucun effet négatif sur leur comportement mécanique.
- La substitution du plâtre par le plâtre recyclé a conduit à une diminution de la résistance mécanique des mortiers, notamment la résistance à la flexion.
- Les fibres ont amélioré, d'une façon très significative la résistance à la flexion de tous les mortiers étudiés, mais leur effet sur la résistance à la compression était moins important.
- La présence du plâtre recyclé dans les différentes formulations a diminué significativement leur retrait.
- Les fibres employées ont conduit à une augmentation du retrait des mortiers de plâtre.
- L'emploi du plâtre recyclé dans les mortiers a apporté une considérable amélioration de leur pouvoir d'isolation thermique par la réduction de leur conductivité thermique.

- La présence de fibres dans les mortiers de plâtre a un excellent effet sur leur capacité d'isolation thermique, en réduisant leur conductivité thermique.

Enfin on peut dire que le recyclage du plâtre est une opération qui n'est pas coûteuse, donc ses atouts, économiques et écologiques sont très appréciés. On suggère l'installation d'unité de collecte et de recyclage de plâtre et de l'utilisation du plâtre obtenu en parallèle du plâtre fabriqué.

## Perspectives

Il ressort de cette étude d'autres possibles travaux tels que :

- ❖ L'étude de l'effet d'autre type des fibres sur les propriétés des mortiers du plâtre recyclé.
- ❖ L'étude des propriétés des mortiers du plâtre recyclé avec l'emploi des mêmes fibres, mais avec d'autres longueurs.
- ❖ L'étude de la durabilité des mortiers du plâtre recyclé.

# Références bibliographique

## Références

**Amitouche. N, Foughali. Y**, Contribution à l'étude des propriétés physicomécanique des plâtres Alfa et Béta avec l'ajout des fibres et de super plastifiants, mémoire de master, université abderrahmane mira, Bejaïa .2016.

**Ayadi. A, Iratini. A**, Elaboration et caractérisation d'un matériau isolant à base de déchets de verre, Proceeding of international Seminary CEOMAT02, Msila. Algérie 10-11 Mars 2002,pp.413-421.

**Article L. 541-3** Code de l'Environnement - Livre V, Titre IV – chapitre 1er relatif à L'élimination des déchets et à la récupération des matériaux. 2007-2017 Legifrance pp(361 362).

**Article 93** de la loi n° 2015-992 du 17 août 2015 sur la transition énergétique pour la croissance verte.

**Belayachi. N, Hoxha. D, Redikutseva. I**, Etude comparative du comportement hygrothermique des matériaux à base de fibres végétales, Thèse De Doctorat, Universitaires de Génie Civil, May 2015, Bayonne, France.

**Bendjilali. F**, Study of mechanical behaviour and shrinkage of mortars reinforced by micro and macro synthetic fibres, mémoire de master, université amar télidji de laghouat, 2019.

**Bendjillali. K, Bendjilali. F, Krobba. B**, Evaluating shrinkage and mechanical performances of polypropylene hybrid fibers reinforced mortar, advances in materials research, Vol: 11(3), 2022, pp 211-224.

**Costes. J**, Le plâtre traditionnel et moderne, Edition Eyrolles. Paris.1995.

**Cherait. Y ,Nafa. Z,** Eléments de matériaux de construction et essai, Edition direction de publication universitaire Guelma.2006.

**Carmen. R-L, María. J, M-C. Rubio-de-Hita, P. Pérez-Gálvez, F. Pedreño-Rojas. M.A,** The Influence of natural and synthetic fibre reinforcement on wood-gypsum composites. The Open Construction and Building Technology Journal. 2017, Vol: 11, Suppl-2, M4, pp 350-362.

**Chaker. A,** Caractérisation thermique et mécanique de matériaux de construction du sud Algérien, Thèse de doctorat. Université de Constantine, 1999.

**C.N.E.R.I.B.** Recommandation pour la Construction en plâtre, Centre National d'Etude et de Recherche Intégré au Bâtiment,1993.

**C.N.R.I.B,** colloque maghrébin sur la construction en matériaux locaux, Matloc 91,1991. PP.101-104.

**Daligang. D,** Plâtre, Techniques de l'Ingénieur, Traité Construction, C910, pp 1-16,2002.

**Dorbani. S,** Contribution À L'amélioration Des Caractéristiques Mécanico-thermiques D'un Mortier À Base De Plâtre, Mémoire Master, Université Houari Boumediene, 2004.

**Djoudi. A,** Caractérisation Structurale et Rhéologique des Bétons de Plâtre et leurs Renforcements par des Fibres Végétales du Palmier Dattier', mémoire de magister, université de laghouat ,2001.

**Djoudi. A, Khenfer. M M, Bali. A, Kadri. E.H and Debicki. G,** Performance of date palm fibres reinforced plaster concrete. International Journal of Physical Sciences, Vol. 7(21), pp. 2845-2853, 2012.

**Djoudi. A, Khenfer. M.M., Bali. A,** Etude d'un nouveau composite en plâtre renforce avec les fibres végétales du palmier dattier, 1st International Conference on sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries SBEIDCO, ENSET Oran, Algeria, October 12-14, 2009.

**Debabi. Z, bouduarra. A,** effet de traitement chimique sur la morphologie structural des fibres végétal Utilise dans un matériau composite, Mémoire de master, Université Akli Mohamed Ou hadj Brouira, 2015.

**Diaga. M,Seck. T,** Compréhension des mécanismes de séchage des matériaux de construction cas du plâtre, Thèse de doctorat Pari-Est, Ecole doctorale science, Ingénierie et Environnement, France.2015.

**Dupain. R,** Granulats, sols, Ciment et Béton, caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire. Editions castella -25, rue Montage-75005 Paris.

**Ebanda. F.B,** Etude des propriétés mécaniques et thermiques du plâtre renforcé de fibres végétales tropicales, Thèse De Doctorat, Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II, France, 2012.

**Edgar. A, Pachon. R,** Étude de l'influence de la dissolution sous contrainte sur les propriétés mécaniques des solides -fluage du plâtre, Thèse de doctorat, Université ClaudeBernard - Lyon I. Français, 2011.

**Festa. J,** Le Plâtre et ses applications traditionnelles et modernes Edition Erolles,1996.

**Gendre. L,** cour matériaux composite et structure composite, Université de paris Saclay.

**Hamida. M.L,** Effet de l'humidité sur les caractéristiques thermiques et mécaniques de matériaux utilisés dans la construction, Magister en physique énergétique, UMC, 2010.

**Herihiri. O,** Formulation et Caractérisation des Bétons légers, Mémoire de Magister, Université Mohamed khider – Biskra. Algérie.2010. p.135.

**Hafsi. F,** Contribution à l'étude de l'isolation thermique des bâtiments dans les régions sahariennes, Mémoire de Magister, Université Amar Thélidji Laghouat.2010.

**Jaffel. H**, Caractérisation Multi-Échelles De Matériaux Poreux En Évolution : Cas Du Plâtre, Thèse De Doctorat, L'école Polytechnique, 2006.

**Kassou. Y**, Contribution à l'amélioration de l'isolation thermique de l'enveloppe des bâtiments, Elaboration d'un composite plâtre –bois, Mémoire de Magister, Université Amar Thélidji 2016, p.115.

**Kuryatnyk. T**, Insensibilisation à l'eau des mélanges à base de sulfate de calcium par ajout de clinker sulfo-alumineux, Thèse de doctorat, INSA, Lyon, France, 2007.

**Meile. S**, Etude De Comportement Mécanique De Plâtre Pris En Relation Avec Sa Microstructure, thèse de Doctorat, Insa De Lyon, 2001.

**Martias. C**, Synthèse et caractérisation de matériaux composites à base de sulfate de calcium destinés à la protection incendie, Thèse De Doctorat, 'Université du Sud Toulon Var,2011 .

**Marzano. M**, Action composite- Pascale celle –GNFA, matériaux composites, pp38-40,2014.

**Meddah. A, Laoubi. H, Bederina. M**, Effectiveness of using rubber waste as aggregates for improving thermal performance of plaster-based composites, Innovative Infrastructure Solutions, Vol 5(61), 2020.

**Mamadou D. S**, Compréhension des mécanismes de séchage des matériaux de construction cas du plâtre. Thèse de doctorat Pari-Est, Ecole doctorale science, Ingénierie et Environnement, France.2015.

**Mermat. F, Kiche. A**, Etude et caractérisation physique et mécanique de plâtre recyclé, Mémoire de Master, Université De Mohamed Bougera – Boumerdes, 2017.

**Ouamane. K**, DG L'AND au service de la gestion des déchets industriels Alger, 25 mai 2017

**Papadakis. M, Venuat. M,** Industrie de la chaux, du ciment et du plâtre, Edition Dunod,Paris, 1970.

**Rachedi. M, Kriker. A, Mokhtari. A,** Physico-mechanical properties of plaster mortar reinforced with date palm fibers, Scholar journal of Applied Sciences and Research,Vol 1(7). 2018.

**Romero-Gómez. M.I, Pedreno-Rojas. M.A, Pérez-Gálvez. F, Rubio-de-Hita. P,** characterization of gypsum composites with polypropylene fibers from non-degradable wet wipes, Journal of Building Engineering, Vol: 34, 2021, p 101874.

**Sattler. H, Bruckner. HP,** Changes in volume and density the hydration of gypsum bindres as a function of the quantity of water oavailable , Z KG International .2001.

**Soltane. M.L,** Contrôle technique d'un prototype de quatre logements en plâtre à Biskra

**Sattler. H, Bruckner. HP,** Changes in volume and density the hydration of gypsum bindres as a function of the quantity of water oavailable, Z KG International, 2001.

**Taleb. Z, Chelabi. H,** Amélioration Des Propriétés Mécaniques Du Plâtre De Construction Avec Des Déchets Plastiques Et Verre, Mémoire De Master, Université Akli Mohamed Ou hadj Brouira, 2017.

**Tetyana. K,** insensibilisation a l'eau des melangesa base de sulfate de calcium, Thèse de doctorat, Ecole doctorale MEGA de Lyon, 05/10/2007, N0 de l'ordre 2007 ISAL-0063

**Ziregue. A,** Influence de différents facteurs d'allégement sur les caractéristiques physico-mécaniques et thermiques d'un béton à matrice calcaire-ciment. Mémoire de magister, Université Amar Thélidji de Laghouat, 2005.

**Ziregue. A,** Comportement physico-mécanique et thermique d'un béton à base de sable calcaire allégé par des granulats de liège : Etude expérimentale et modélisation du comportement mécanique du composite, Thèse doctorat, Université Amar Thélidji de Laghouat, 2018.

## Les Normes utilisés

**NFP 18-555** : Détermination de la masse volumique absolue et apparente.

**NF B 12.401** : Mesure de la finesse de mouture du plâtre.

**NFB 12-401** : Détermination du taux de gâchage à saturation du plâtre.

**NFB 12 -401** : Détermination de la prise de plâtre.

**EN 1097-6** : Masse volumique absolue par la méthode du pycnomètre de sable.

**NFP 18-555** : Compacité et Porosité.

**EN 933-1**: Détermination du module de finesse de sable.

**EN 933-8** : Essai de l'équivalence de sable.

**NFP 18-555** : Essai d'absorption.

**NF EN 196-2** : Analyse chimique.

**EN933-1 et EN 933-2** : Essai de caractérisation des matériaux –L'analyse granulométriques.

**EN 196-1** : Déterminer la contrainte de flexion et compression de mortier

**NFP 15-433** : Mesure de retrait.

# Annexes



**Figure 1.**Échantillons après essai de flexion



**Figure 2.**Échantillons après essai de Compression



**Figure 3.**Disposition des fibres



**Figure 4.**Fibres synthétiques

## GAMME DES PLÂTRES DE CONSTRUCTION KNAUF

	FLEURUS®	MOULARUS	COLLARUS	MP75®	MP75L®	TOP FINISH	PERLFIX®	JOINTFILLER	FUGENFULLER
<b>Application</b>	KNAUF FLEURUS® est un enduit de plâtre traditionnel qui s'applique manuellement sur tous les supports. Il convient aux travaux d'aménagement des constructions neuves ou en rénovation, à l'exception des locaux humides.	KNAUF MOULARUS est un plâtre de moulage qui convient pour la fabrication d'éléments décoratifs, de faux plafonds, de gorges, etc.	KNAUF COLLARUS est destiné à l'accrochage de motifs décoratifs en plâtre (rosaces, gorges... Sur tous les supports en plâtre ou ciment)	KNAUF MP75® est un enduit monocouche qui s'applique mécaniquement sur tous les supports rugueux et absorbants, dans les constructions neuves ou en rénovation, dans les hôtels, bâtiments administratifs, à l'exception des locaux humides.	KNAUF MP75L® est un enduit monocouche allégé qui s'applique mécaniquement sur tous les supports rugueux et absorbants, dans les constructions neuves ou en rénovation, dans les hôtels, bâtiments administratifs, à l'exception des locaux humides.	KNAUF TOP FINISH est un enduit pelliculaire de finition destiné aux supports suivants : support en ciment blanc, béton lisse très absorbant, plaque de plâtre brute avant peinture (ou autres habillages)	KNAUF PERLFIX® est destiné au collage des plaques de plâtre type Knauf sur tout type de maçonnerie y compris les supports en béton.	KNAUF JOINTFILLER est un enduit à séchage à prise longue, utilisé pour réaliser les joints entre plaques de plâtre type KNAUF BA (bord aminci) ou HRAK (bord aminci semi-arrondi). Il doit être utilisé avec une bande d'armature.	KNAUF FUGENFULLER est un enduit à prise rapide, utilisé pour finir manuellement avec une bande d'armature les joints entre plaques de plâtre type HRAK (bord aminci semi-arrondi) et AK ou BA (bords amincis).
Épaisseur recommandée	± 10 à 15mm			10 à 15 mm	10mm à 15 mm	1 à 4 mm	- 3mm	- 3mm	
Rendement en m²	1 sac de 40 kg donne environ 4 à 4,5 m²	1 sac de 40 kg + 80% d'eau donne 48 litres de pâte		1 sac de 30 kg donne environ 2,8 à 3,2 m²	1 sac de 25 kg donne environ 2,8 à 3,2 m²	1 sac de 20 kg donne environ 26 m²	1 sac de 25 kg donne environ 5 à 8 m² de plaque posée	Consommation 0,3 kg / m²	1 kg de FUGENFULLER donne environ 1,2 L de mortier prêt à l'emploi
Mise en œuvre	Manuelle	Manuelle	Manuelle	Mécanique	Mécanique	Manuelle	Manuelle	Manuelle	
Conditionnement	40kg	40kg	25kg	30kg	25kg	20kg	25kg	20kg	25kg

Supports	FLEURUS	MOULARUS	COLLARUS	MP75	MP75L	TOP FINISH	PERLFIX	JOINTFILLER	FUGENFULLER
Brique/Paving	•		•	•	•		•		
Béton coulé brut	•		•	•	•		•		
Béton préfabriqué absorbant	•		•	•	•		•		
Béton préfabriqué non absorbant	•▲		•▲	•▲	•▲	•▲	•▲		
Sous couche en plâtre ou ciment			•	•	•	•	•		
Plaque de plâtre						•	•	•	•

▲ Appliquez une couche primaire de PERLFIX

**Siège Social Oran**

Boîte postale N° 02 - 31240 - Boufaris  
Tél. : +213 (0) 41 52 10 50 / 51 - Fax : +213 (0) 41 52 12 26 / 14 62

**Bureau Alger**

02, Lot Ben Haddadi Saïd - 16002 - Chéraga  
Tél. : +213 (0) 21 36 87 00 - Fax : +213 (0) 21 36 77 17

**Bureau Sétif**

L'Aid Dahoua, Zone d'activité - 3ème tranche - 19000 Sétif  
Tél. : +213 (0) 36 93 77 41 - Fax : +213 (0) 36 93 77 41

E-mail : info@knaufalgerie.com

www.knaufalgerie.com



تلفون: +213 (0) 41 52 10 50 / 51 - فاكس: +213 (0) 41 52 12 26 / 14 62  
البريد الإلكتروني: info@knaufalgerie.com

تلفون: +213 (0) 21 36 87 00 - فاكس: +213 (0) 21 36 77 17  
البريد الإلكتروني: info@knaufalgerie.com

تلفون: +213 (0) 36 93 77 41 - فاكس: +213 (0) 36 93 77 41  
البريد الإلكتروني: info@knaufalgerie.com

www.knaufalgerie.com



