

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

**Université Abou BekrBelkaid – Tlemcen**

**Faculté de Technologie**

**Département de Génie Civil**



Mémoire d'obtention du diplôme

de MASTER en Génie civil

Option : STRUCTURES

**Thème**

**Contribution à l'étude des matériaux composites  
plâtres/déchets**

**Présentée le 27 septembre 2020 par :**

**BEN YOUBI TOUFIK**

**HAMMOUMI SABAH**

**Devant le jury composé de :**

GHOMARI Fouad	Professeur	Univ. Tlemcen	Président
BEZZAR Abdel-Allah	Professeur	Univ. Tlemcen	Examineur
HOUTI Farid Brahim	MAA	Univ. Tlemcen	Encadreur
BENOSMAN Ahmed Soufiane	Professeur	ESSA-Tlemcen	Encadreur
TALEB Omar	MCB	Univ. Tlemcen	Encadreur

2019/2020

## ***Dédicaces***

***Je dédie ce modeste travail à :***

***La plus chère au monde, ma mère qui me comble par sa prière à celle qui a veillée sur moi pendant toujours.***

***Le plus cher qui a toujours souhaité de son vivant que j'aie au plus loin de mes études.***

***Mon Cher frère Zakaria.***

***Ma Chère sœur IMENE.***

***Mon grand-père et ma grand-mère.***

***Mes oncles.***

***A toute la famille.***

***A tous mes amis (es).***

***Ma binôme SABAH et toute sa famille.***

***Tous ceux qui m'ont soutenu tout le long de cette période.***

**Remerciements :**

***Le présent travail a été réalisé au laboratoire de Génie Civil à l'Université  
ABOU BEKR BELKAID, TLEMCEN.***

***Nous tenons à remercier DIEU en premier pour nous avoir donnés le  
courage, la volonté et la patience pour achever ce mémoire.***

***Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribués au succès de  
notre stage au laboratoire et qui nous ont aidés lors de la rédaction de ce  
mémoire.***

***Nous tenons à remercier spécialement Monsieur HOUTI Farid Brahim  
enseignant à la Faculté de Technologie sise à CHETOUANE, TLEMCEN, qui  
fut le premier à nous faire découvrir le sujet et suivre notre mémoire et aussi  
pour ses conseils et ses directives au laboratoire.***

***Un grand remerciement au Professeur BENOSMAN Ahmed Soufiane  
enseignant à l'Ecole Supérieure des Sciences Appliquées de TLEMCEN qui  
s'est toujours montré patient et à l'écoute tout au long de la réalisation de ce  
mémoire, ainsi que pour l'aide et le temps qu'il a bien voulu nous consacrer.***

***Notre sincère remerciement va aussi à l'égard de Docteur TALEB Omar,  
enseignant au département du génie civil à la faculté de Technologie,  
CHETAOUNE TLEMCEN pour tous ses conseils avisés lors de la réalisation  
de notre travail***

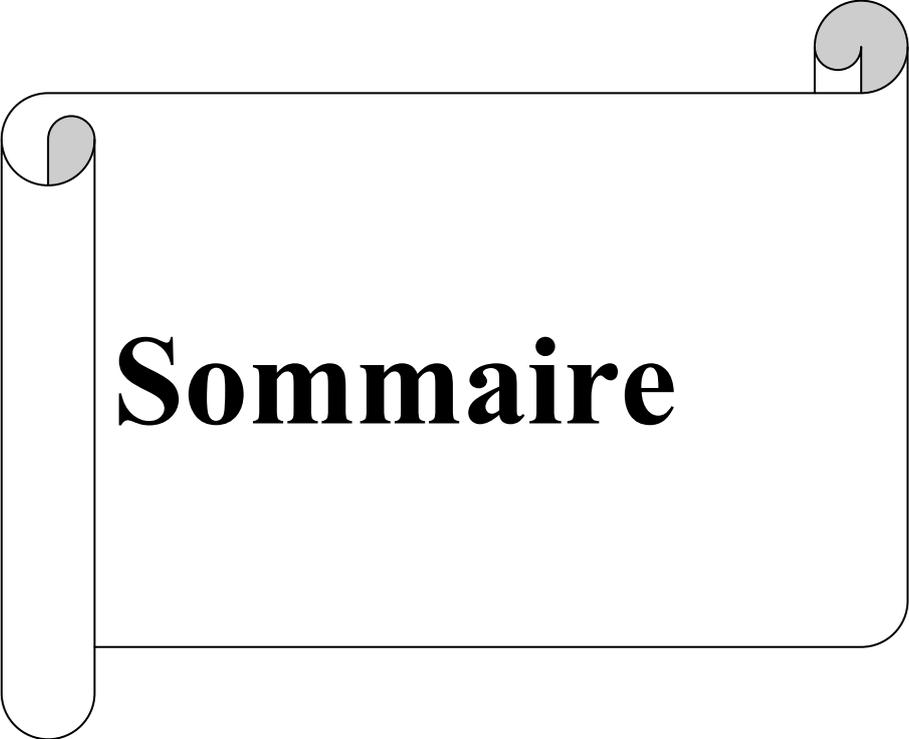
***Nos sincères remerciements s'adressent également au Professeur GHOMARI  
Fouad pour avoir accepté de présider le jury de soutenance.***

***Professeur BEZZAR Abdelillah nous a fait l'honneur d'examiner ce modeste  
travail. Qu'il trouve ici l'expression de notre gratitude.***

***Nous remercions tout le personnel du Laboratoire de recherche de Génie  
Civil de faculté de Technologie à l'Université de TLEMCEN.***

***Un grand merci à ma mère et mon père, pour leur amour, leurs conseils ainsi  
que leur soutien inconditionnel, à la fois moral et économique, qui m'a permis  
de réaliser les études que je voulais et par conséquent ce mémoire.***

***Je remercie ma sœur IMENE, et mon frère ZAKARIA, pour leurs  
encouragements.***



**Sommaire**

# SOMMAIRE

Dédicace.....	ii
Remerciements.....	iii
Symboles.....	x
Liste des figures.....	xi
Liste des tableaux.....	xiv
Introduction Générale : .....	1

## Chapitre I : Généralités sur le plâtre.

I. Généralités sur le plâtre .....	4
I.1. Historique de l'usage du plâtre.....	4
I.2. Définition du plâtre.....	4
I.3. Matières premières du plâtre.....	5
I.3.1. Définition du gypse .....	5
I.3.2. Les anhydrites .....	5
I.3.3. Les types de gypse .....	6
I.4. Fabrication du plâtre .....	7
I.5. Types et domaines d'utilisation.....	7
I.5.1.Plâtre de construction.....	7
I.5.2. Plâtre d'isolation.....	8
I.5.3.Autres types de plâtre .....	8
I.6.Caractéristiques physico-chimiques.....	8
I.6.1.La résistance au feu .....	8
I.6.2. La conductivité thermique.....	9
I.6.3.Isolement acoustique.....	10
I.7.Hydratation et prise du plâtre.....	10
I.7.1. La prise.....	10
I.7.2. Modificateurs de la prise.....	11

I.8. Propriétés mécaniques et mise en œuvre du plâtre.....	11
I.8.1. La densité.....	12
I.8.2. Résistance mécanique.....	12
I.9. Différents usages des mortiers et enduits de plâtre .....	13
I.9.1. Les plaques de plâtre.....	13
I.9.2. Utilisation dans le bâtiment.....	13
I.9.3. Matériaux de construction.....	13
I.10. Conclusion.....	14

## **Chapitre II : Généralités sur les déchets.**

II.1. Introduction.....	16
II.2. Définition des déchets .....	16
II.3. Valorisation des déchets .....	16
II.3.1. Recyclage des déchets .....	16
II.3.2. L'avantage du recyclage .....	16
II.4. Les différents types de déchets .....	17
II.4.1. Déchets verts .....	17
II.4.2. Déchet de verre .....	17
II.4.3. Déchet plastique .....	17
II.4.4. Déchet inerte .....	17
II.4.5. Déchet ultime.....	18
II.4.6. Déchet de fin de construction .....	18
II.5. Sac de la société SASACE .....	18
II.6. Sac de KNAUF .....	18
II.6.1. Les caractéristiques du sac .....	19
II.6.2. Fabrication de sac.....	19
II.7. Déchet de sacs .....	20
II.8. La méthode de recyclage .....	20

II.8.1. Processus de recyclage .....	20
II.8.2. Valorisation des déchets de sac .....	21
II.8.3.L'intérêt de la valorisation .....	21
II.9. Gestion des déchets .....	21
II.9.1. Comment agir .....	21
II.9.2. La gestion de collecte de déchets.....	21
II.9.2.1. Collecte des déchets .....	21
II.9.2.2 Les différents modes de récupération .....	22
II.10. Conclusion .....	22

### **Chapitre III : Plâtre et matériaux composites.**

III.1.Introduction.....	24
III.2.Matériaux composites.....	24
III.3.Caractéristiques des matériaux composites .....	24
III.4. Constituants des matériaux composites.....	25
III.4.1.La matrice .....	25
III.4.2.Le renfort.....	26
III.5.Classification des matériaux composites .....	26
III.5.1.Classification suivant la forme des constituants .....	27
III.5.2.Classification suivant la nature des constituants .....	27
III.6.Géométrie des renforts .....	28
III.7.Différents types de fibres .....	29
III.7.1.Les fibres naturelles .....	29
III.7.2.Les fibres synthétiques .....	29
III.8.Plâtre renforcé avec des fibres.....	32
III.8.1.Mortier de plâtre renforcé par des fibres de palmier dattier .....	32
III.8.2.Mortier de plâtre renforcé par feillard en polyester et poudre de verre .....	33

III.8.3.Plâtre renforcé de fibres végétales tropicales .....	33
III.8.4.Plâtre renforcé par des fibres de plastiques des câbles .....	34
III.9.Avantages et inconvénients des composites .....	35
III.10.Rôles des fibres dans le plâtre .....	35
III.11.Conclusion.....	35

## **Chapitre IV: Partie expérimentale**

IV.1.Introduction.....	38
IV.2. Matériaux utilisés.....	38
IV.2.1.Préparation des fibres utilisées.....	38
IV.3.Caractérisation physiques.....	39
IV.3.1.Masse volumique.....	39
IV.3.2.Le temps de prise du plâtre.....	39
IV.3.3. La consistance normale du plâtre.....	40
IV.4.Formulation des pâtes de plâtre fibrés.....	41
IV.5. Essais mécaniques.....	42
IV.5.1. Essai de rupture par traction.....	42
IV.5.2. Essai de compression.....	42
IV.6. Propriétés thermiques.....	43
IV.7. Résultats et discussion.....	44
IV.7.1. Variation de la masse volumique du mélange en fonction des ajouts des fibres Plastiques (polypropylène).....	44
IV.7.2. Absorption Capillaire.....	45
IV.7.3. Résistance à la compression.....	47
IV.7.4. Résistance à la flexion.....	48
IV.8. Etude des propriétés thermiques du plâtre composite.....	49
IV.9. Conclusion.....	52

Conclusion général.....	53
Bibliographie.....	54

## SYMBOLES :

Symboles	Désignations	Unités
$\rho_a$	Masse volumique apparente	kg/m <sup>3</sup>
$\rho_s$	Masse volumique absolue	kg/m <sup>3</sup>
E/P	Consistance normale du plâtre	-
R <sub>F</sub>	Résistance à la flexion	MPa
R <sub>C</sub>	Résistance à la compression	MPa
L	Distance entraxe des rouleaux d'appuis de l'éprouvette	mm
F <sub>F</sub>	Charge à la rupture en flexion	N
F <sub>C</sub>	Charge à la rupture en compression	N
F	Force	N
b	Largeur de la section carrée du prisme	mm
$\lambda$	Conductivité thermique	W .m. <sup>-1</sup> .k <sup>-1</sup>
J	Diffusivité thermique	J/m <sup>2</sup> .k
C <sub>p</sub>	Capacité calorifique	m <sup>2</sup> /s

# Liste des figures :

## **Chapitre I : Généralités sur le plâtre.**

<b>Figure I.1 :</b> Phase du plâtre .....	5
<b>Figure I.2 :</b> Structure cristalline du gypse.....	5
<b>Figure I.3 :</b> Les différents systèmes de cristallisation du gypse.....	6
<b>Figure I.4 :</b> Comment le gypse retarde la transmission de la chaleur .....	9
<b>Figure I.5 :</b> Conductivité thermique du gypse en fonction de la température.....	10
<b>Figure I.6 :</b> Influence du rapport E/P sur la densité.....	12
<b>Figure I.7 :</b> Influence du rapport E/P sur la résistance mécanique.....	12
<b>Figure I.8 :</b> Utilisation du plâtre.....	13

## **Chapitre II : Généralités sur les déchets.**

<b>Figure II.1 :</b> Différents types de sac de la SASACE.....	18
<b>Figure II.2 :</b> Sac de KNAUF.....	19
<b>Figure II.3 :</b> Déchets de sac .....	19
<b>Figure II.4 :</b> Processus de fabrication SASACE.....	20

## **CHAPITRE III : Plâtre et matériaux composites.**

<b>Figure III.1 :</b> Schéma d'un matériau composite.....	25
<b>Figure III.2 :</b> Différentes familles de matrices.....	26
<b>Figure III.3 :</b> Différentes familles du renfort.....	26
<b>Figure III.4 :</b> Exemples de multi-matériaux.....	28
<b>Figure III.5 :</b> Structures géométriques des composites.....	28
<b>Figure III.6 :</b> Différents types des fibres.....	29
<b>Figure III.7 :</b> Fibres polypropylène.....	30

<b>Figure III.8</b> : Fibres polyester .....	30
<b>Figure III.9</b> : Fibres Métalliques.....	31
<b>Figure III.10</b> : Fibres de verre.....	31
<b>Figure III.11</b> : Fibres en lamelles.....	32
<b>Figure III.12</b> : Fibres en tissu.....	32
<b>Figure III.13</b> : Déchets utilisés Feuillard en polyester.....	33
<b>Figure III.14</b> : Fibres Racktophyllum Camereneuse .....	34
<b>Figure III.15</b> : Fibres plastique des câbles.....	35

### **Chapitre IV : Partie expérimentale**

<b>Figure IV.1</b> : Plâtre KNAUF FLURUS .....	38
<b>Figure IV.2</b> : Essai de prise avec l'appareil Vicat.....	39
<b>Figure IV.3</b> : Mesure de la consistance normale.....	40
<b>Figure IV.4</b> : Eprouvettes réalisées (4×4×16 cm <sup>3</sup> ).....	41
<b>Figure IV.5</b> : Dispositif pour l'essai de résistance à la traction.....	42
<b>Figure IV.6</b> : Dispositif pour l'essai de résistance à la compression.....	43
<b>Figure IV.7</b> : Appareil ISOMET Quickline 30.....	43
<b>Figure IV.8</b> : Variation de la masse volumique en fonction du pourcentage des fibres.....	44
<b>Figure IV.9</b> : Variation de la masse d'eau absorbée en fonction du temps et du pourcentage des fibres (à 14 jours).....	45
<b>Figure IV.10</b> : Variation de la masse d'eau absorbée en fonction du temps et du pourcentage des fibres (à 28 jours).....	46
<b>Figure IV.11</b> :Variation du coefficient d'absorption capillaire en fonction du pourcentage en masse de fibres à 14 jours et 28 jours.....	47
<b>Figure IV.12</b> :Variation de la résistance à la compression en fonction de pourcentage des fibres à 14et28 jours.....	48
<b>Figure IV.13</b> :Variation de la résistance à la flexion en fonction du pourcentage des fibres à 14et28 jours.....	49

<b>Figure IV.14</b> : Variation de la conductivité thermique en fonction du dosage des fibres.....	50
<b>Figure IV.15</b> : Variation de la capacité calorifique en fonction du pourcentage des fibres.....	51
<b>Figure IV.16</b> : Variation de la diffusivité thermique en fonction du pourcentage des fibres.....	52

# Liste des tableaux :

## **CHAPITRE III : Plâtre et matériaux composites.**

**Tableau III.1 :** Les caractéristiques moyennes des fibres les plus utilisées. .... 32

## **CHAPITRE IV : Partie expérimentale**

**Tableau IV.1:** Géométrie macroscopique des fibres de polypropylène..... 39

**Tableau IV.2:**Temps de prise du plâtre ..... 40

**Tableau IV.3 :** Données et résultats des essais de consistance..... 40

**Tableau IV.4:** La variation des masses volumique du mortier plâtre en fonction des ajouts des fibres plastique (polypropylène)..... 44

**Tableau IV.5 :** Variation de la résistance à la compression en fonction du pourcentage des fibres à 14 jours..... 47

**Tableau IV.6 :**Variation de la résistance à la compression en fonction du pourcentage des fibres à 28 jours..... 48

**Tableau IV.7 :** Variation de la résistance à la flexion en fonction du pourcentage des fibres à 14 jours..... 49

**Tableau IV.8 :** Variation de la résistance à la flexion en fonction de pourcentage des fibres à 28 jours..... 49

**Tableau IV.9 :** Les conductivités thermiques du plâtre composite en fonction du dosage des fibres..... 50

**Tableau IV.10:** La capacité calorifique en fonction du pourcentage des fibres..... 51

**Tableau IV.11 :** La diffusivité thermique en fonction du pourcentage des fibres..... 51

## **Résumé :**

Le plâtre est l'un des principaux matériaux de construction largement utilisé dans les enduits. Il est considéré comme un matériau d'isolation thermique et acoustique. Cependant, la fragilité du plâtre reste son défaut principal et qui peut créer parfois des désordres.

L'objectif principal est de renforcer le plâtre par des fibres plastiques récupérés à partir de déchets de sacs de plâtre de marque KNAUF.

Au cours de cette recherche, nous avons étudié l'influence du taux de ces fibres allant de 0% à 2% sur le comportement physique, mécanique et thermique des composites à base de plâtre. Toutefois, pour des raisons de temps, nous avons choisi de travailler uniquement avec des fibres de longueur égale à 12 mm.

Les résultats ont permis de montrer que ces fibres n'améliorent guère le comportement mécanique par contre elles augmentent la conductivité thermique

**Mots clés:** Plâtre de construction, fibre plastique polypropylène, thermique.

## **ملخص**

يعتبر الجص أحد مواد البناء الرئيسية المستخدمة على نطاق واسع في الجبس. تعتبر مادة عازلة للحرارة والصوت. ومع ذلك ، تظل هشاشة الجص هي العيب الرئيسي الذي يمكن أن يؤدي في بعض الأحيان إلى اضطرابات. الهدف الرئيسي هو تقوية الجص بألياف بلاستيكية مسترجعة من النفايات من أكياس الجبس التي تحمل العلامة التجارية كناوف. خلال هذا البحث درسنا تأثير معدل هذه الألياف التي تتراوح من 0% إلى 2% على السلوك الفيزيائي والميكانيكي والحراري للمواد المركبة القائمة على الجبس. ومع ذلك ، لأسباب تتعلق بالوقت ، اخترنا العمل فقط مع ألياف بطول يساوي 12 مم. أظهرت النتائج أن هذه الألياف بالكاد تحسن السلوك الميكانيكي وتزيد من التوصيل الحراري

## **Abstract**

Plaster is one of the main building materials widely used in gypsum. It is considered a thermal and sound insulation material. However, the fragility of the coating remains the main drawback which can sometimes lead to disturbances.

The main objective is to reinforce the plaster with plastic fibers recovered from the waste of KNAUF brand plaster bags.

During this research we studied the effect of the rate of these fibers ranging from 0 to 2% on the physical, mechanical and thermal behavior of plaster-based compounds, but for reasons of time we chose to work only with fibers 12 mm long.

The results showed that these fibers hardly improve mechanical behavior and increase thermal conductivity.

# **Introduction générale**

## Introduction générale :

L'Algérie est un pays en développement, ce qui augmente le niveau de déchets générés par les économistes. La question des déchets est devenue l'un des sujets les plus fréquemment débattus en raison de sa gravité qui peut nuire aux personnes et à l'environnement, les autorités gouvernementales devraient donc prendre en compte la gestion des déchets. La protection de l'environnement est une préoccupation collective. Le recyclage des déchets est le processus de collecte et de traitement des déchets, et leur conversion en nouveaux produits, et ce processus est l'un des processus qui préserve la propreté de l'environnement, en particulierité dans le secteur de la construction. En effet, certains déchets sont source de profit en raison de l'importance économique, environnementale et technologique de secteur de la construction. [1]

Cependant, certaines entreprises ont récemment développé une nouvelle catégorie de plastique pour s'inscrire dans le développement durable de l'innovation, et c'est le cas dans l'industrie des sacs biodégradables, ceux-ci sont fabriqués à partir de polypropylène, auquel des additifs oxydants sont ajoutés, favorisent ainsi la dégradation en petits fragments.

SPA SASACE, société spécialisée dans la fabrication des sacs d'emballage biodégradables à partir de la matière de polypropylène tissé, et l'injection des additifs oxo chimique. [2]

La recherche actuelle concerne sur le développement des matériaux de construction, dans le but d'améliorer les propriétés mécaniques, physiques, thermiques .Par ailleurs, la quantité de déchets de sacs plastiques KNAUF après l'utilisation augmente constamment. La valorisation de ce type de déchets peut être réutilisée dans le secteur de construction.

L'objectif de ce travail est de contribuer à l'étude des matériaux composites plâtre et déchets plastique de sacs plâtre KNAUF réutilisés comme fibres de renfort. Notre projet se concentre sur deux objectifs principaux :

- ❖ Etude d'une composition du mortier de plâtre pur et de mortier de plâtre renforcé avec des fibres plastiques.
- ❖ Amélioration des propriétés physiques, mécaniques et thermiques du plâtre renforcé avec des fibres.

Ce travail est divisé en quatre chapitres :

- ❖ Le premier chapitre concerne les généralités sur le plâtre avec ses propriétés physiques, mécaniques et thermiques.
- ❖ Le deuxième chapitre explique les différents types de déchets ainsi que les moyens possibles de les valoriser dans différents domaines.
- ❖ Le troisième chapitre est consacré à la présentation des matériaux composites dans le domaine de génie civil.
- ❖ Le quatrième chapitre est dédié à la partie expérimentale, dans laquelle nous allons présenter les différents matériaux utilisés, la méthodologie, les formulations des

mortiers de plâtre avec des fibres plastiques, les essais physico-mécaniques et thermiques, en plus d'une partie concernant les résultats obtenus et discussion.

Enfin, nous terminons par une conclusion générale sur la partie élaborée.

En raison de la pandémie du COVID-19 la grande partie du programme expérimental prévue a été annulée et non finalisée pour tirer d'autres conclusions concernant ce travail de recherche.

**Chapitre I**  
**Généralités sur le plâtre**

## I. Généralités sur le plâtre

Le plâtre, matériau de construction est largement utilisé pour les enduits ou élément préfabriqués comme des cloisons légères et des revêtements intérieurs, grâce à ses propriétés d'isolation thermique et acoustique et sa haute résistance au feu, il ne dégage aucun produit toxique en cas d'incendie. Toutefois, le gros problème de ce matériau réside dans sa faible résistance vis-à-vis de la traction, il ne peut être utilisé comme une structure porteuse.

En Algérie, le plâtre est très utilisé dans le bâtiment pour façonner les murs, les plafonds et les moulures décoratives, ceci pour leurs performances énergétiques, du coût et de temps de mise en œuvre.

### I.1. Historique de l'usage du plâtre :

Le plâtre est le matériau le plus ancien utilisé par l'homme avec la chaux et la terre cuite, l'utilisation de plâtre remonte à environ 9000 ans. La facilité à obtenir du plâtre grâce à une température de cuisson très faible et l'abondance de gypse dans la nature expliquent l'ancienneté d'utilisation. La grande pyramide de Kéops a été construite par l'assemblage de blocs de pierre en plâtre.

Plus récemment, l'emploi du plâtre est liée au décret de Louis XIV promulgué en 1667, ce décret faisait suite à l'incendie de Londres l'année précédente, le plâtre est déjà connu pour sa résistance au feu.

Actuellement, le plâtre est utilisé pour les travaux d'intérieur soit en enduit ou bien en élément préfabriqués, carreaux ou plaques. [3]

### I.2. Définition du plâtre :

Le plâtre est un matériau obtenu à partir de gypse dans lequel les roches sédimentaires se rassemblent dans d'énormes masses d'évaporateurs, anciennement appelées pierre de gypse, qui existent parfois sous la forme de cristaux d'albâtre ou de sélénite, généralement la pierre ou les carrières sont extraites sous terre puis cuites puis concassées. Il est écrasé et broyé pour donner de la poudre de plâtre blanc. [4]



Figure I.1 : Phase du plâtre

### I.3. Matières premières du plâtre :

#### I.3.1. Définition du gypse :

Le gypse et l'anhydrite sont des sulfates de calcium. Ils se trouvent dans la nature sous forme sédimentaire. Sa formule chimique, à l'état pur :

Gypse:  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (Ca0: 32,6%,  $\text{SO}_3$ : 46,5%,  $\text{H}_2\text{O}$ : 20,9%)

Anhydrite:  $\text{CaSO}_4$ , (Ca0: 41,2%,  $\text{SO}_3$ : 58,8%). [5]

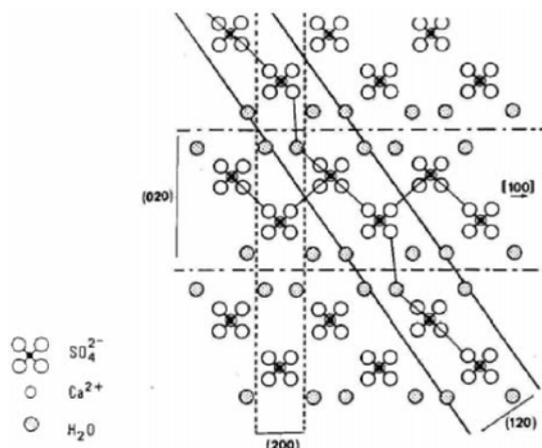


Figure I.2 : Projection de la structure cristalline du gypse. [1]

#### I.3.2. Les anhydrites :

L'anhydrite est un minérale naturelle de formule chimique  $\text{CaSO}_4$  se trouve dans les formations gypseuses et salifères, ou dans certains gisements minéraux. On considère qu'elle s'est formée comme le gypse par évaporation de l'eau de mer mais elle peut également résulter par déshydratation lente de gypse sous l'influence d'une haute pression lors de plissement géologique. [6]

### I.3.3. Les types du gypse :

#### I.3.3.1. Le gypse naturel :

Une roche sédimentaire le plus soluble dans l'eau. Généralement le gypse résulte de l'évaporation de l'eau de lagunes marines sursaturées, il est présent en quantités importantes dans la nature, il existe différents variétés de gypse(Figure I.3). [7]

##### a) La rose de sable :

La rose de sable est une roche évaporée formée par cristallisation lenticulaire de minéraux solubles dont la disposition rappelle les pétales de rose. La formation de roses de sable provient de l'évaporation de l'eau. Ces cristaux se trouvent souvent dans les sols meubles (sable, argile). [8]

##### b) Le gypse "fer de lance" :

Les plaques sont souvent transparentes et incolores avec la propriété de se fendre parallèlement à la surface en fines feuilles de verre lustré ou de brillent nacre.

##### c) Le gypse lamellaire :

De gros cristaux incohérents et souvent emmêlés qui se divisent le clivage en petites écailles.

##### d) Le gypse fibreux :

Ce sont de longues fibres cristallines. Ils forment généralement les obturations de fractures et d'articulations. Ce gypse se développe dans des discontinuités sédimentaires importantes (niveau stratigraphique, fractures ... etc.). [9]

##### e) Le gypse saccharoïde :

Ce gypse est généralement caractérisé par une composition moyennement cristalline. Il est de couleur blanche. [9]



Figure I.3 : Les différents systèmes de cristallisation du gypse: a-Rose dessables, b- Gypse "fer de lance", c- Gypse lamellaire, d- Gypse fibreux, e- Gypse saccharoïde.

**I.3.3.2. Le gypse synthèse :** est le produit par des réactions chimiques industrielles. Les sources de gypse chimique sont :

- Fabrication de matériau phosphorique (gypse phosphoreux) avec une attaque soufrée sur les phosphates naturels.
- la fabrication d'autres acides minéraux :  
(Acide borique : borogypse, acide fluorhydrique : fluor gypse) ou  
Organiques : organo-gypses (acide citrique, tartrique, etc...).
- La production d'oxyde de titane ( $\text{TiO}_2$ ) conduit également à la production d'un gypse appelé titanogypse.
- la désulfuration des gaz et fumées : l'oxydation de l'anhydride sulfureux  $\text{SO}_2$  (énanhydride sulfurique) puis sa réaction avec de la chaux, provoque dans le but d'éliminer le soufre des gaz de combustion des centrales thermique, produit un gypse appelé désulfogypse. [10]

Le phosphogypse se présente toujours sous forme humide (17.5 à 25% de d'eau par rapport à la masse de produit sec) et cela implique un traitement thermique plus important que celui du gypse naturel qui ne contient que quelques pour-cent en masse d'humidité.

#### **I.4. Fabrication du plâtre :**

Le processus de fabrication du plâtre suit les différentes étapes suivantes [11]:

L'extraction du gypse, Concassage primaire, Stockage, Tamisage, Cuisson (La cuisson par voie sèche (fabrication du plâtre bêta), la cuisson par voie humide (fabrication du plâtre Alpha), Broyage.

#### **I.5. Types et domaines d'utilisation :**

Ce liant est difficile d'utiliser notamment en raison de la rapidité de son temps de prise, le plâtre utilisé dans la construction a souvent une durée de vie plus longue, grâce à l'ajout de matériaux retardateurs. Un plâtre doit avoir un gâchage facile, donnant une pâte très homogène et l'état de sa surface (finesse des grains). [12]

##### **I.5.1. Plâtre de construction :**

Gros et fins, utilisé dans tous les travaux d'étanchéité, pour assembler des briques plâtrières et pour lisser les revêtements.

**I.5.2. Plâtre d'isolation :**

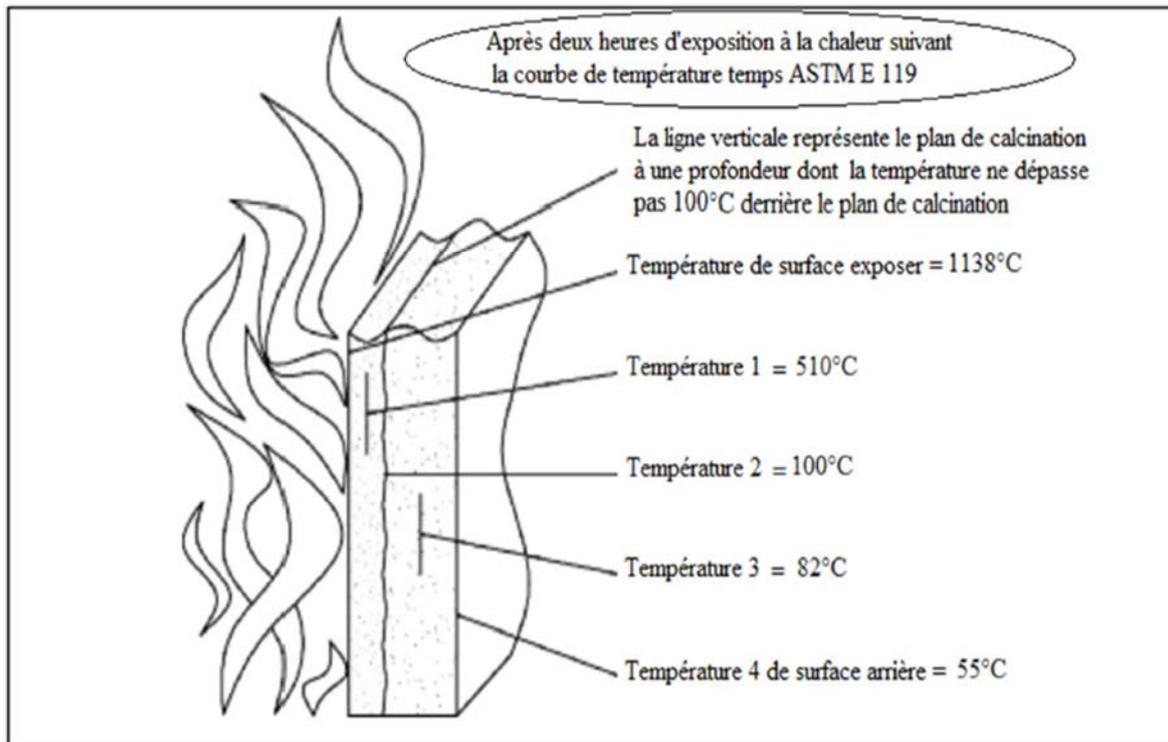
Le plâtre est un bon isolant thermique, car il absorbe et libère très rapidement l'humidité de l'air mais se décompose dans les endroits humides, aussi il oxyde les métaux ferreux qui nécessitent une galvanisation (recouvrir d'une couche de zinc). C'est un bon matériau de protection contre l'incendie car il est capable d'absorber une grande quantité d'énergie thermique pour provoquer des transformations chimiques intenses accompagnées de la libération de vapeur d'eau. [12]

**I.5.3. Autres types de plâtre :**

- ❖ **Plâtre à projeter :** C'est un mélange de sable, plâtre et ciment. Il est résistant et très dur qui est utilisé pour les zones exposées, en particulier les pièces humides, il est utilisé aussi pour réaliser les enduits intérieurs.
- ❖ **Plâtre à modeler :** Plâtre idéal pour la décoration, le moulage et la sculpture. Il peut être utilisé comme enduit d'intérieur.
- ❖ **Plâtre de surfacage :** Très doux, c'est un matériau de finition qui s'applique en très fines couches sur l'enduit de plâtre, idéal pour les petites fissures.
- ❖ **Plâtre de Paris :** Sûrement le produit le plus utilisé par les professionnels de la construction car il est très fin. Il est utilisé pour la réparation des plafonds et la décoration de moulures. [12]

**I.6. Caractéristiques physico-chimiques :****I.6.1. La résistance au feu :**

Le plâtre est un matériau incombustible. L'eau contenue dans le plâtre s'évapore pendant l'incendie, il absorbe ainsi la chaleur et retarde la montée en température, de la même manière lorsqu'un bloc de glace est soumis à la combustion et même si la glace devient très mince, il bloque efficacement le transfert de chaleur extrême. Aussi, lorsque les structures en bois ou en acier protégées du gypse sont exposées à un feu, le produit chimique de l'eau combinée agit comme barrière thermique jusqu'à ce que ce processus devienne lent, appelé la calcination à température plus élevée que l'eau bouillante. Une fois la calcination terminée, le gypse calciné continue à agir comme une barrière protégeant les membres structurels de l'exposition directe aux flammes. Au cours de l'incendie, le plâtre ne dégage pas des produits toxiques, mais juste de la vapeur. (Figure I.7). [13].



**Figure I.4 :** Comment le gypse retarde la transmission de la chaleur. [13]

### I.6.2. La conductivité thermique :

La microstructure du plâtre varie selon les ressources, les méthodes de fabrication et les méthodes utilisées. La conductivité thermique du plâtre est due aux effets de l'humidité et du rayonnement dans les pores, les valeurs rapportées par différentes études varient largement, notamment à des températures supérieures à 500°C. La figure I.8 montre la conductivité thermique du gypse en fonction de la température, comme l'indiquent certaines études. Les symboles représentent les valeurs mesurées et les lignes représentent les courbes modifiées dans les modèles de transfert de chaleur pour fournir un bon étalonnage entre les résultats numériques et expérimentaux. [14]

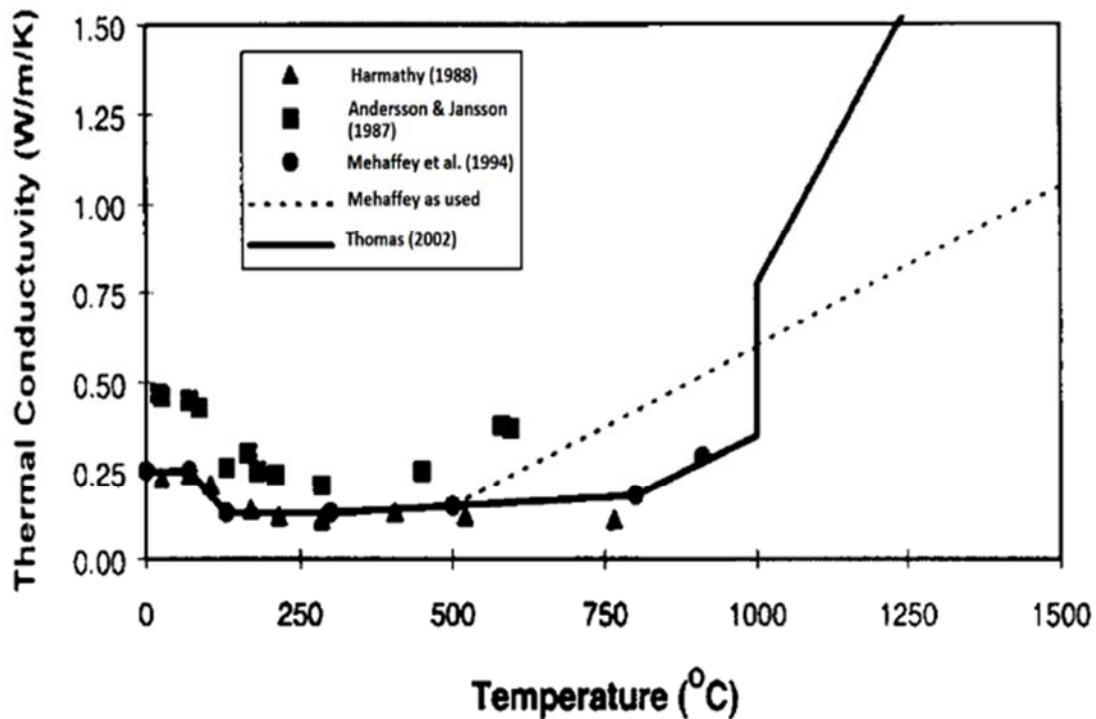


Figure I.5 : Conductivité thermique du gypse en fonction de la température [14]

### I.6.3. Isolement acoustique :

Le domaine de l'acoustique est un domaine délicat dans les applications pratiques, c'est plus un art que de science. Le moindre pont acoustique risque de ruiner les résultats car un tel pont est suffisant pour permettre la transmission des vibrations des ambiances qui le relie à travers la continuité des murs et des cloisons. Les enduits manuels ou par pulvérisation offrent une isolation contre la transmission de bruit aérien et une protection contre les ponts acoustiques dus aux fissures, de la porosité des matériaux, etc.

Le plâtre grâce à son aptitude au mélange lors de sa fabrication, ainsi qu'à être un élément décoratif en relief se prête à la réalisation de panneaux de structures architecturales ou ornementales, capables de supprimer ou d'atténuer l'écho gênant des sons émis dans la pièce. [6]

## I.7. Hydratation et prise du plâtre:

### I.7.1. La prise :

La déshydratation thermique du plâtre, lorsqu'il se trouve au contact avec l'eau, les produits résultant ont la propriété de retrouver leur degré d'hydratation initiale. Ce phénomène s'appelle la prise du plâtre. Plusieurs mécanismes ont été envisagés pour décrire ce processus qui se déroule en trois phases successives :

- Une phase chimique d'hydratation.
- Une phase physique de cristallisation.
- Une phase mécanique de durcissement.

Le temps de prise et de durcissement varient en fonction de la nature du plâtre et sa finesse.

- ❖ **Début de prise** : moment où le plâtre commence à cristalliser (le sillon tracé par une lame de couteau dans une galette de plâtre ne se referme plus).
- ❖ **Fin de prise** : moment où la pâte de plâtre devient inutilisable, le plâtre termine son durcissement (un pouce fermement appliqué sur la surface ne laisse plus de trace). [7]

### I.7.2 Modificateurs de la prise :

#### a. Accélérateurs de prise :

Accélérateur de prise et durcissement est utilisée généralement pour la préfabrication ; ce procédé d'accélérer la prise du plâtre à un démoulage très rapide. Les accélérateurs sont des produits minéraux :

- Soit formation des germes de cristallisation: (gypse broyé par exemple).
- Soit réduire la solubilité du sulfate de calcium dihydraté:( sulfate de fer, acides sulfuriques, chlorhydrique ou nitrique, chlorures, bromures et iodures alcalins, bichromate de potassium).

#### b. Retardateurs de prise :

Dans la construction et les arts ou l'industrie, le retardateur de prise du plâtre permet un travail plus facile. Plusieurs mécanismes peuvent être appliqués :

- ❖ La vitesse de dissolution réduite des phases anhydres.
- ❖ Diminution de la solubilité des phases anhydres.
- ❖ Adsorption d'ions à la surface des cristaux de gypse lors décroissance et incorporation de ces ions dans leurs réseaux.
- ❖ Formation de complexes limite leur diffusion vers les cristaux de gypse.

Les retardateurs principaux sont des phosphates alcalins et d'ammonium, les acides organiques et leurs sels solubles :( acide citrique ; citrates), les protéines dégradées. [15]

### I.8. Propriétés mécaniques et mise en œuvre du plâtre :

Les courbes ci-dessous donnent l'influence d'E/P sur la densité et sur la résistance mécanique du plâtre.

## I.8.1. La densité :

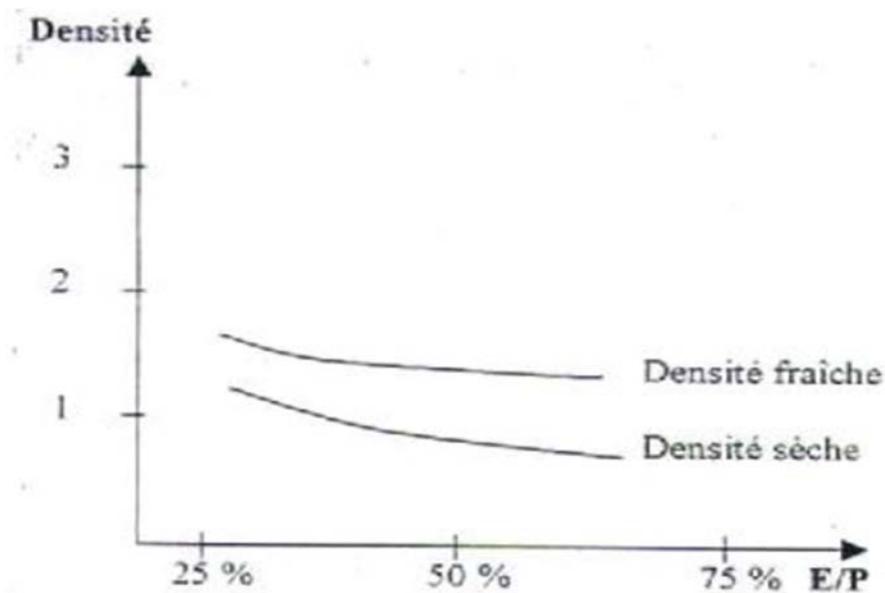


Figure I.6 : Influence du rapport E/P sur la densité.

## I.8.2. Résistance mécanique :

Les figures (1.9 et 1.10) montrent que la résistance mécanique décroît avec l'augmentation du rapport E/P. Ceci s'explique par le fait que E/P provoque une porosité élevée donc le matériau devient moins dense d'où une chute de sa résistance. Pour l'obtention d'une bonne ouvrabilité et une résistance satisfaisante, il est recommandé l'utilisation d'un rapport E/P = 0,6. [16]

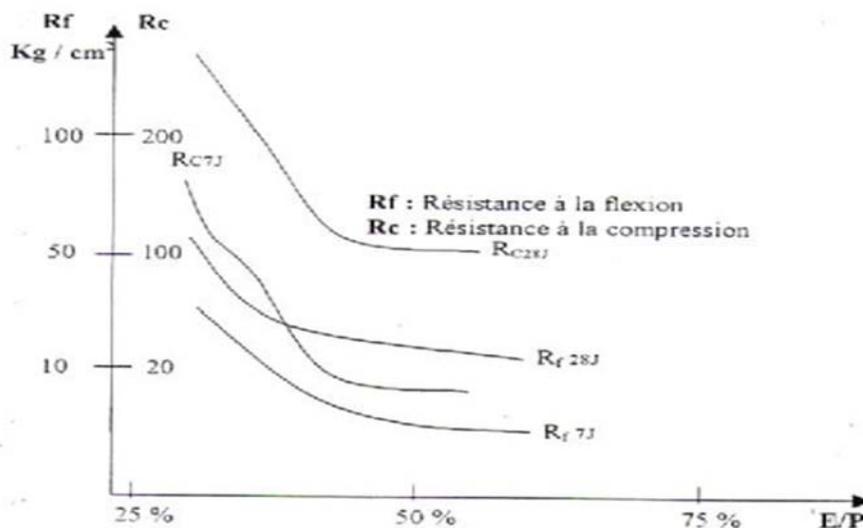


Figure I.7 : Influence du rapport E/P sur la résistance mécanique.

## I.9. Différents usages de mortier et enduits plâtre :

### I.9.1. Les plaques de plâtre:

Ce sont des panneaux largement utilisés dans domaine de construction neuve, ils sont légers destinés à la réalisation de construction pour le second œuvre notamment le domaine de la décoration. On peut citer certaines applications modernes :

- ❖ Cloisons sèches et doublages.
- ❖ Plafonds suspendus.
- ❖ Eléments constructifs préfabriqués. [17]

La plaque de plâtre est recommandée comme une solution à divers problèmes rencontrés en construction :

- Pièces humides : performance d'hydrofugation
- Protection en cas d'incendie : plaques feu.
- Résistance aux chocs : plaque à haute dureté.
- Absorption acoustique : Plaques renforcées.
- Isolation acoustique : plaques épaisses.

### I.9.2. Utilisation dans le bâtiment:

Le mélange de plâtre avec de la chaux grasse (10% à 15%) et du sable donne un mortier largement utilisé comme enduit externe et interne. Le plâtre grossier est utilisé comme première couche sur les plafonds, les murs et pour le jointoiment et les planchers. Le plâtre fin est utilisé pour la dernière couche de finition.

### I.9.3. Matériaux de construction:

Le plâtre peut être renforcé avec des fibres pour former un plâtre armé. Les applications sont très variées: enduits, scellement ou chape, mortiers, moulures décoratives, éléments de construction, tels que panneaux sandwich ou structures isolantes avec murs en plâtre, carreaux, revêtement de maçonnerie intérieure, murs, etc. Mais ils sont également utilisés pour des usages médicaux spécifiques: moulage pour préserver l'os fracturé, consolidation de bandage. [18]



Figure I.8 : Utilisation du plâtre.

**I.10.Conclusion:**

Le matériau plâtre est couramment utilisé en construction sous forme d'enduits ou éléments préfabriqués et ce, selon ses propriétés physiques, isolation thermique et phonique, résistance au feu et moins onéreux. Néanmoins, le plâtre a une faible résistance à la traction, ce qui nous mène à procéder à son renfort à l'aide de fibres afin d'améliorer ses propriétés en traction et en compression.

# **Chapitre II**

## **Généralités sur les déchets**

### **II.1. Introduction :**

Le déchet peut être associé à de nombreux matériaux en fin de vie, par exemple des papiers, des déchets alimentaires, des matières radioactives, des produits chimiques, des huiles moteurs ou des emballages, c'est-à-dire tous les déchets laissés en place.

Avec l'augmentation significative de la population mondiale, le développement de l'industrie et les progrès technologiques, l'accumulation de déchets est devenue un problème qui menace l'environnement, la santé et la sécurité humaine, ce qui nécessite les efforts de tous individus, organisations et gouvernements pour résoudre ce problème.

Le développement économique et industriel des dernières décennies, ainsi que le souci de préserver l'environnement, ont conduit à l'utilisation de nouveaux matériaux. À cause de leurs performances physiques et chimiques. Leurs propriétés sont très différentes de celles des matériaux de construction traditionnels tels que le béton et le métal. Par conséquent, il est important que leurs propriétés mécaniques et leur évolution dans le temps soient connues afin de garantir leurs performances dans ces nouvelles applications.

### **II.2. Définition des déchets :**

Le déchet possède aujourd'hui de multiples facettes et est défini différemment en fonction du secteur et du point de vue concernés (économique, environnemental, sociétal...). [19]

Le déchet est défini comme tout les matières qu'on n'a pas un intérêt [20]

### **II.3. Valorisation des déchets :**

La valorisation concerne toute opération permettant une réutilisation des déchets par substitution de matière nécessitant ou non un traitement ou une transformation préalable: réemploi, recyclage, réintroduction dans la chaîne de production, etc. Alors que le traitement se réfère à toute opération de valorisation ou d'élimination comprenant la préparation préalable des déchets [21]

#### **II.3.1. Recyclage des déchets :**

Le recyclage est défini comme tout les réintroductions de matière dans le processus de production qui le dévie du flux de déchet ces derniers sont retraités en produits, ou matériaux aux fins de leur fonction première ou à d'autres moyens qui ne sont pas compris comme processus de recyclage: la valorisation énergétique, la valorisation des déchets de fin de construction et les opérations de remblayage.

#### **II.3.2. L'avantage du recyclage :**

Il réduit le volume des déchets (qui sont devenus une matière première secondaire), réduisant ainsi la pression sur les ressources naturelles. L'expansion actuelle du recyclage est le résultat de plusieurs facteurs, à savoir : la consommation toujours croissante de ressources combinée à l'épuisement progressif de ces ressources et à la dépendance de

l'approvisionnement de nos pays; Avec l'ajout des impacts environnementaux importants qui façonnent l'exploitation de ces ressources. [22]

### **II.4.Les différents types de déchets :**

#### **II.4.1.Déchets verts :**

Ce sont des déchets organiques formés de résidus issus de l'entretien des espaces verts. En agriculture, les déchets verts sont en général utilisés compostés, ils peuvent toutefois être utilisés broyés (sans compostage). Les sources de déchets verts sont nombreuses : les feuilles mortes, tontes de gazon, tailles de haies et d'arbustes, résidus d'élagage, déchets de jardin des particuliers collectés séparément, déchets de fleurissements, plantes et fleurs fanées, déchets de potager. [23]

#### **II.4.2.Déchets de verre :**

C'est tous les déchets qui sont à base de verre comme les bouteilles. Le verre est la matière première pure pour fabriquer du nouveau verre car nous pouvons le réutiliser sans aucune perte de qualité. La réutilisation réduit les déchets ainsi que la consommation de matières premières et d'énergie. De même, la réutilisation des bouteilles représente une économie significative d'énergie et de matières premières.

#### **II.4.3.Déchets plastiques :**

Le plastique est partout et dangereux, et on le trouve partout : à la maison, à l'extérieur et même sur le lieu de travail. Il représente un grand danger pour la nature et l'environnement ainsi que pour de nombreuses espèces d'animaux et constitue donc une menace sur toute la planète.

#### **II.4.4.Déchets inertes :**

Les déchets inertes sont des déchets qui ne constituent pas une menace pour l'environnement, ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune réaction physique ou chimique qui pourrait nuire à l'environnement.

Dans la famille des déchets inertes, nous classons chacun des pavés, du sable, des granulats, des tuiles, du béton et même du dallage.

Ils ont de nombreuses origines :

- ❖ Chantiers : démolition, réhabilitation, construction
- ❖ Entretien des ouvrages existants
- ❖ Travaux publics
- ❖ Mines et carrières, etc.

#### II.4.5. Déchets ultimes :

Les déchets ultimes sont des déchets qui ne peuvent plus être valorisés, que ce soit par recyclage ou valorisation énergétique et qui ne sont plus adaptés pour le traitement économique à l'heure actuelle.

#### II.4.6. Déchet de fin de construction :

Ce sont tous les déchets générés par la construction, ils sont divisés en plusieurs types :

Les déchets inertes, les déchets non dangereux, les déchets dangereux, les déchets industriels : (Les déchets industriels spéciaux (D.I.S.), les déchets industriels banals (D.I.B). [24]

#### II.5. Sac de la société SASACE :

##### ❖ Offre de la Spa SASACE :

SASACE fabrique : des sacs tissés laminés à valve et à fond Hexagonal Thermo Soudé (Sac AD STRAR) destiné aux produits Minéraux (Cimenteries, Plâtreries, engrais, etc.) [25].



Figure II.1. Différents types de sacs de la SASACE.

#### II.6. Sac KNAUF :

C'est un sac plastique oxo-biodégradable à durée de vie maîtrisée, recyclable, présentant la même caractéristique physico-mécanique qu'un sac classique et respectueux de l'environnement.



Figure II.2.Sac KNAUF.

### II.6.1. Les caractéristiques du sac KNAUF:

- ❖ Le sac KNAUF est à base de polypropylène,
- ❖ Le sac est totalement non nocif pour l'environnement,
- ❖ La résistance d'un échantillon de (24 x 5 cm<sup>2</sup>) à l'aide d'un appareil de traction est de 550N.
- ❖ Le sac résiste au moment de son remplissage, il n'y a pas de déperdition et il n'y aura pas d'éclatement.

### II.6.2.Fabrication des sacs :

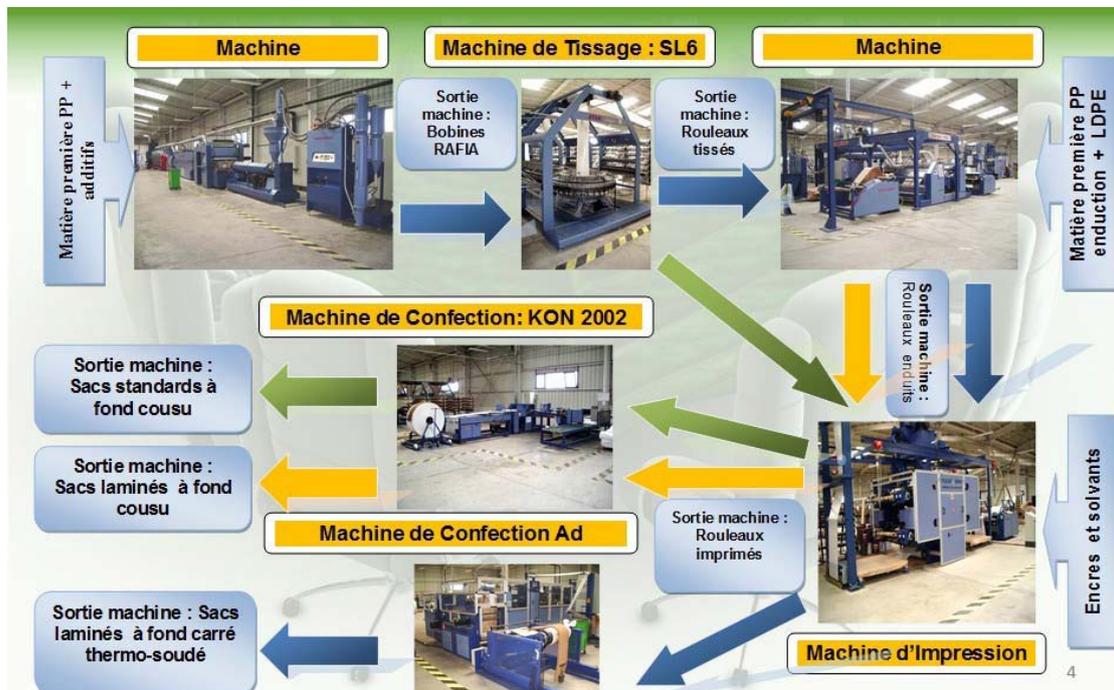


Figure II.3 : Processus de fabrication SASACE. [26]

## II.7. Déchet de sacs :

Ces déchets sont présents dans toutes les constructions structurelles et posent de nombreux problèmes dans l'environnement, notamment visuels et sanitaires.

Dans certaines statistiques par an : un chantier contient 3 tours, dans une seule tour il existe 4 machines de projection, chaque machine dégage 40 à 50 sacs par jour seulement pour une seule tour de R+13. Alors, si on va compter toutes les tours de l'Algérie qui travaillent avec le plâtre projeté et par le plâtre de finition ...etc. Donc, on va avoir des milliers de sacs perdus par jour seulement pour ce type (MP75).



Figure II.3. Déchets de sac.

## II.8. La méthode de recyclage :

### II.8.1. Processus de recyclage :

Les familles de traitement de déchets sont :

- ❖ Les procédés de traitement biologique : dégradent la matière organique présente dans les déchets. En fonction des procédés et des déchets traités, ils permettent une valorisation énergétique.
- ❖ Les procédés de traitement mécaniques : sont utilisés d'une part pour extraire des déchets une fraction qui fera l'objet d'une valorisation matière ou énergétique et d'autre part pour conditionner les déchets.
- ❖ Les procédés de traitement physico-chimiques de déchets sont : des prétraitements avant mise en décharge ou valorisation.
- ❖ Les procédés de traitement thermique de déchets sont : généralement utilisés pour réduire sensiblement le volume des déchets, avec une production possible d'énergie et éventuellement d'une fraction à valoriser [27].

### II.8.2. Valorisation des déchets de sac :

La valorisation des déchets est un système constitué de divers processus exécutés sur un objet inutile pour le rendre à nouveau utile, permettant ainsi la création d'une nouvelle substance. Dans le domaine du génie civil, la récupération des sacs prend une place importante et fait l'objet de nombreuses études et recherches, dans un contexte caractérisé par l'évolution rapide de la réglementation, qui devient de plus en plus contraignante en termes de protection de l'environnement, en vue de créer de nouveaux matériaux pour préserver les ressources naturelles, ainsi que de développer des procédés à la mesure du cadre du concept de développement durable. [28]

Ce travail concerne la valorisation des déchets nocifs pour l'environnement en raison de leur grande taille et des déchets plastiques peu attractifs. Des déchets plastiques sont ajoutés au plâtre sous forme de fibres.

#### II.8.3. L'intérêt de la valorisation :

- ❖ Elimination des résidus accumulés,
- ❖ La diminution de la pollution et des risques écologique,
- ❖ La préservation des ressources parce que moins de matières premières seront utilisées,
- ❖ La réutilisation,
- ❖ Garder la matière première.

### II.9. Gestion des déchets :

Il s'agit de toute opération liée à la collecte, au transport, au stockage, à la valorisation et à l'élimination des déchets, y compris la maîtrise de ces processus. De cette définition, plusieurs processus se démarquent dans la situation de gestion des déchets qui existe en Algérie. [29]

#### II.9.1. Comment agir ? :

Tout d'abord, minimiser et éviter les déchets à la source génère beaucoup moins de déchets, et la gestion et le tri des déchets doivent être organisés. Suivre le développement des déchets grâce à un bon contrôle, car il est essentiel pour une bonne gestion. Ne pas mélanger différents types de déchets (y compris les déchets dangereux et les déchets normaux) en organisant le stockage pour augmenter les déchets et réduire les coûts [30].

#### II.9.2. La gestion de collecte des déchets :

##### II.9.2.1. Collecte des déchets :

Le ramassage et/ou le regroupement des déchets en vue de leur transfert vers un lieu de traitement. [29]

**II.9.2.2 Les différents modes de récupération :**

**Tri à la source:** le groupe séparé nécessite un pré-tri de la litière, soit à la source, soit au centre de tri,

**Collecte par contribution volontaire:** consiste à mettre à disposition des habitants des espaces d'accueil, choisis de manière appropriée (en centre-ville ou en banlieue) pour permettre un service satisfaisant à la population.

**Collecte séparée:** Elle consiste à regrouper les produits valorisables, notamment les emballages, dans une ou plusieurs boîtes conteneurs; Les assemblées séparées peuvent être faites de porte à porte ou par contribution volontaire [31].

**II.10. Conclusion :**

- ❖ Ces dernières années, le traitement des déchets a posé de nombreux défis environnementaux et économiques. Surtout, avec le grand développement des différentes quantités de déchets produites annuellement.
- ❖ Sur le plan écologique, le concept qu'il faut conserver est celui de «criblage» afin de réduire le nombre de déchets et donc l'impact sur l'environnement. Cependant, ce dépistage doit se faire dans le respect d'une éthique durable dans le respect du développement durable. Il s'agit de promouvoir la réduction des déchets.
- ❖ Sur le plan économique, il est nécessaire de valoriser les déchets pour ses bienfaits. Il ne doit donc pas être détruit sans récupération, mais doit être utilisé pour sa fabrication et sa formation par recyclage. Cette approche permet de multiples avantages économiques.
- ❖ Le traitement des déchets est donc un véritable enjeu économique et environnemental.

**CHAPITRE III**  
**Plâtre et matériaux**  
**Composites**

**III.1.Introduction:**

La technologie moderne nécessite plus de propriétés mécaniques et physiques. De nouvelles perspectives ont émergé avec l'avènement des composites, dont le domaine d'utilisation continue de s'étendre de façon exponentielle.

Les composites de fibres évoluent en raison de leurs propriétés mécaniques et physiques souvent associées à une faible densité. Leur bon rapport coût / performance a permis une large gamme d'applications dans divers domaines, y compris le domaine du bâtiment. De plus, ce matériau a permis de renforcer des matériaux de construction fragiles.

**III.2.Matériaux composites :**

Une substance composite se compose d'au moins deux substances miscibles différentes. Le nouveau matériau ainsi formé avait des propriétés différentes des ingrédients de base. Les matériaux composites sont constitués d'un cadre appelé renfort, qui assure la résistance mécanique, et d'une protection appelée matrice, qui assure la cohésion de la structure et répartit les contraintes appliquées au matériau. L'intérêt principal de l'utilisation des composites vient de leurs excellentes propriétés. Ils présentent de grands avantages par rapport aux matériaux traditionnels. Il offre de nombreux avantages fonctionnels : [10]

- ❖ légèreté,
- ❖ résistance mécanique et chimique,
- ❖ maintenance réduite. [10]

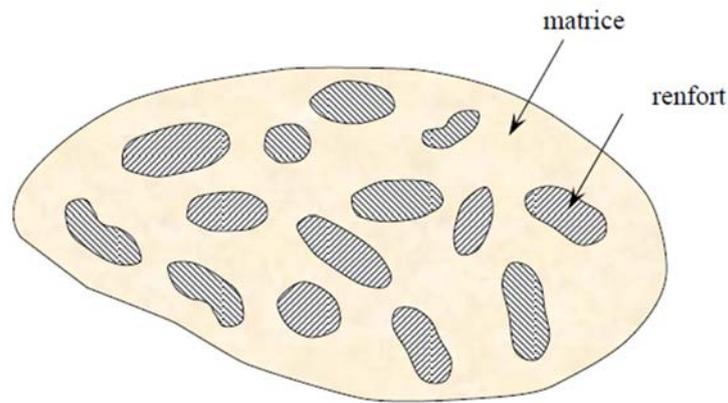
**III.3.Caractéristiques des matériaux composites :**

Les propriétés de ces matériaux dépendent de nombreux facteurs et sont différentes selon leurs types. Ces caractéristiques sont dues à:

- ❖ La nature et la quantité des substances constitutives.
- ❖ La distribution et la géométrie du renfort.
- ❖ La nature de l'interface matrice-renfort.

Les principales propriétés des pièces fabriquées en matériaux composites sont :

- ❖ La bonne résistance (durée de vie augmentée).
- ❖ L'absence de la corrosion.
- ❖ L'absence de rupture (la limite élastique correspond à la limite de rupture).
- ❖ L'insensibilité à certains produits chimiques (solvants, peinture, huiles, pétrole, etc...).
- ❖ Le vieillissement sous l'influence de l'humidité et de la chaleur
- ❖ Tenue aux chocs très moyenne. [32]



**Figure III.1.**Schéma d'un matériau composite. [33]

La géométrie du renfort dépend de : sa forme ou sa taille, ou à sa concentration du renfort, sa disposition, etc. Si ces paramètres contribuent à déterminer les propriétés du composite, alors les modèles descriptifs ne prendront en compte que certains paramètres, compte tenu de la complexité des phénomènes en question. Par exemple, la forme du renfort sera schématisée soit par des sphères, soit par des cylindres. La concentration de renforcement est généralement mesurée par fraction volumique ou fraction massique. La concentration de l'armature est un paramètre propre aux propriétés du matériau composite. [33]

La répartition du renfort dans le volume est un paramètre important, une distribution uniforme assurera « l'homogénéité » du matériau, si la répartition du renfort est de manière irrégulière, le matériau commencera à se déchirer dans les zones faibles du renfort, ce qui réduit la résistance du composé. Les composites dont le renfort est constitué en fibres, l'orientation des fibres détermine l'anisotropie du matériau composite. Cet aspect constitue l'une des caractéristiques de base des composites : la capacité à maîtriser l'anisotropie du produit final grâce à une conception et une fabrication adaptée aux propriétés recherchées. [33]

### **III.4. Constituants des matériaux composites :**

#### **III.4.1. La matrice :**

La matrice est le composant qui maintient les fibres ensemble. Elle répartit les efforts (résistance à la compression ou à la flexion) et assure une protection chimique des fibres. Dans la figure III.2, nous montrons les différentes familles de matrices.

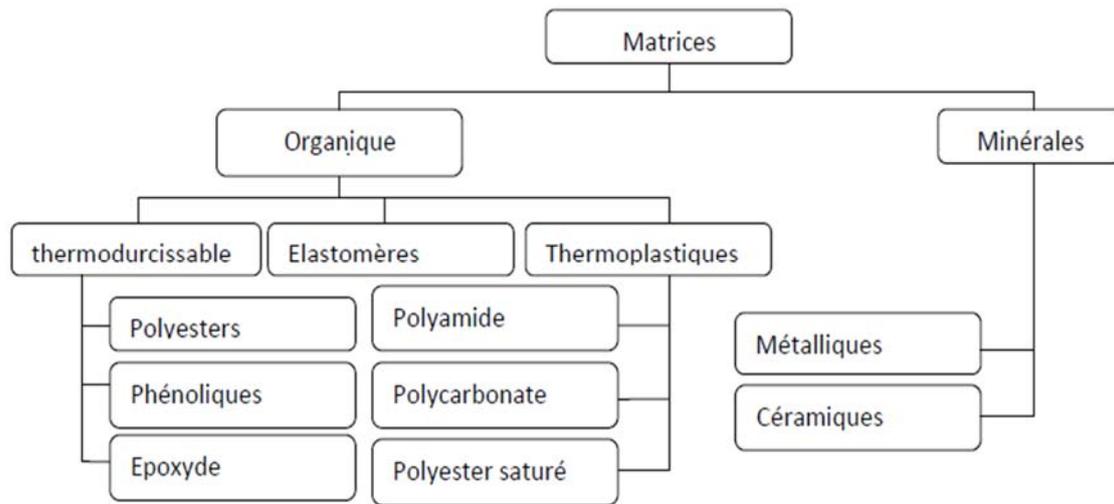


Figure III.2. Différentes familles de matrices. [34]

**III.4.2. Le renfort:**

Les renforts permettent d'améliorer la résistance mécanique à la traction et la rigidité des matériaux composites et se présentent sous forme de filament (fibres organiques ou minérales), sur la figure 3. 3, nous présentons différentes combinaisons de renforts.

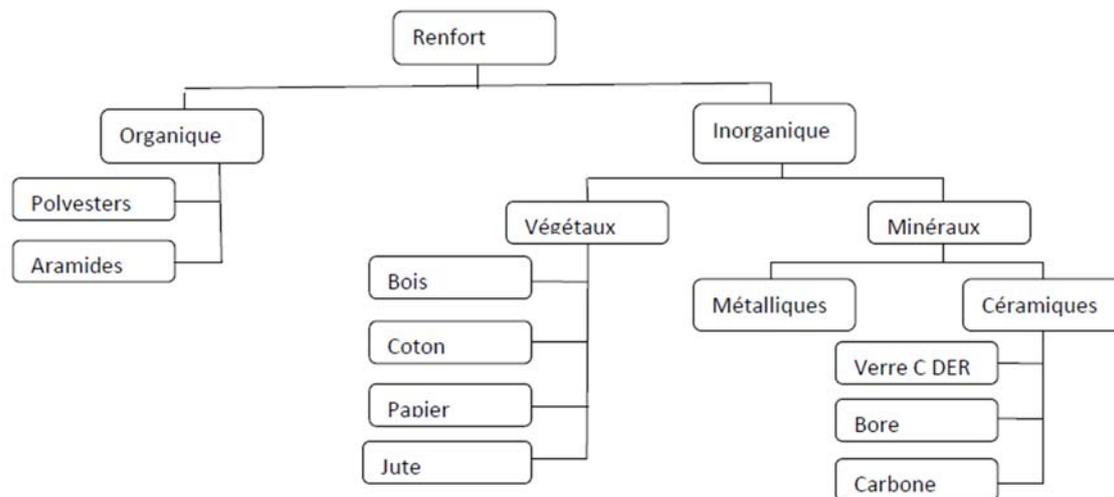


Figure III.3. Différentes familles du renfort. [34]

**III.5. Classification des matériaux composites :**

Les composites peuvent être classés suivant la forme des composants ou suivant la nature des composants :

**III.5.1. Classification suivant la forme des constituants :****III.5.1.1. Composites renforcés par des fibres :**

Un matériau composite est un composé fibreux, le renfort est sous forme de fibres. L'utilisation des fibres soit sous forme de fibres continues, soit sous forme de fibres discontinues (fibres courtes)

La disposition et l'orientation des fibres personnalisent les propriétés mécaniques des matériaux composites, ce qui donne des matériaux, allant des matériaux très fortement aux matériaux isotropes dans le plan. Par conséquent, le concepteur possède ici une sorte de matériau qu'il peut peaufiner et modifier à volonté dans le comportement mécanique et physique en jouant sur : La nature et la proportion des substances, l'orientation des fibres. [32]

**III.5.1.2. Composites renforcés par des particules:**

Un matériau composite est particules lorsque le renfort est sous forme de particules. Les particules, contrairement aux fibres n'ont pas de dimension préférée. Les particules sont généralement utilisées pour améliorer certaines propriétés des matériaux telles que la dureté, la résistance à la température, la résistance à la corrosion, etc. Les particules sont utilisées comme charges pour réduire le coût du matériau, sans trop réduire ses propriétés. [32]

**III.5.2. Classification suivant la nature des constituants :**

Pour la nature de la matrice, les composites sont classés selon des composés à matrice organique, à matrice métallique ou à matrice minérale. Différents renforts sont liés à ces matrices. Seuls certains couples d'associations ont actuellement un usage industriel, tandis que d'autres se développent dans des laboratoires de recherche. Parmi ces composés on peut citer :

**a. Composites à matrice organique (résine, charges) :**

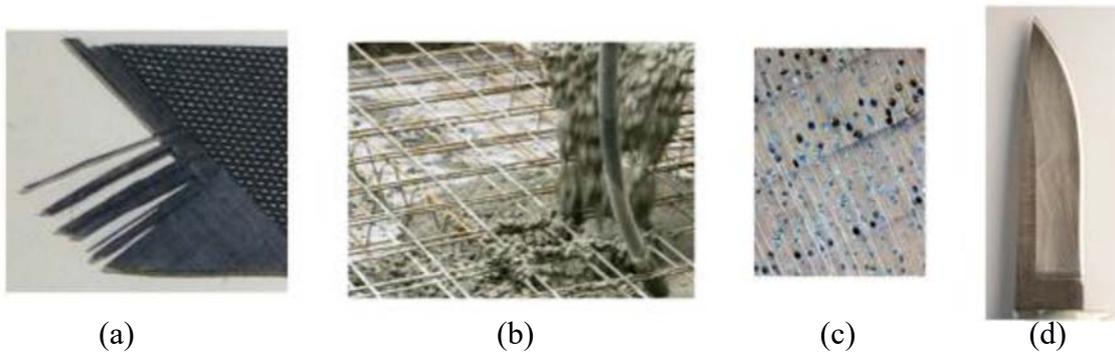
- ❖ Des fibres minérales : verre, carbone, etc.
- ❖ Des fibres organiques : Kevlar, polyamides, etc.
- ❖ Des fibres métalliques : bore, aluminium, etc.

**b. Composites à matrice métallique (alliages légers et ultraléger d'aluminium, de magnésium, de titane):**

- ❖ Des fibres minérales : carbone, carbure de silicium (SiC),
- ❖ Des fibres métalliques : bore.
- ❖ Des fibres métallo-minérales : fibres de bore revêtues de carbure de Silicium.

## c. Composites à matrice minérale (céramique):

- ❖ Des fibres métalliques : bore,
- ❖ Des particules métalliques : cermets,
- ❖ Des particules minérales : carbures, nitrures, etc. [33]



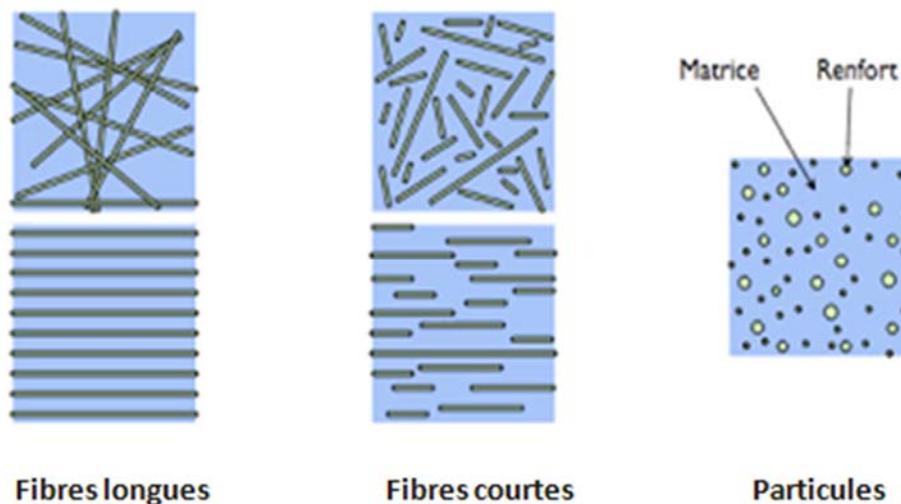
**Figure III.4.** Exemples de multi-matériaux : (a) un composite carbone/époxy, (b) un béton armé, (c) du bois vu au microscope optique, (d) une lame d'acier de Damas (image de Ralf Pfeifer). [35]

## III.6.Géométrie des renforts :

Les trois types principaux de renforts sont :

- ❖ Fibres longues (longueur similaires aux dimensions de la pièce) ;
- ❖ Fibres courtes (courtes en longueur par rapport aux dimensions de la pièce) ;
- ❖ Particules, ou charges de renfort.

Ces renforts sont inclus dans une matrice qui répartit les efforts entre eux et les protège des actions extérieures, comme décrit ci-dessus. Aussi, lorsque les renforts sont des fibres, ils peuvent être dirigés dans une direction spécifique ou disposés de manière aléatoire.



**Figure III.5.** Structures géométriques des composites. [36]

### III.7. Différents types de fibres :

L'utilisation des fibres (figure III.6) dans la construction depuis les trente dernières années, chaque type de fibre a des propriétés :

- ❖ Dimensions (diamètre, longueur.), forme (lisse, rugueuse, plate, crantée, etc.)
- ❖ Résistance à la traction et adhérence, qui fournit un comportement mécanique spécifique à la structure renforcée de fibre. [37].

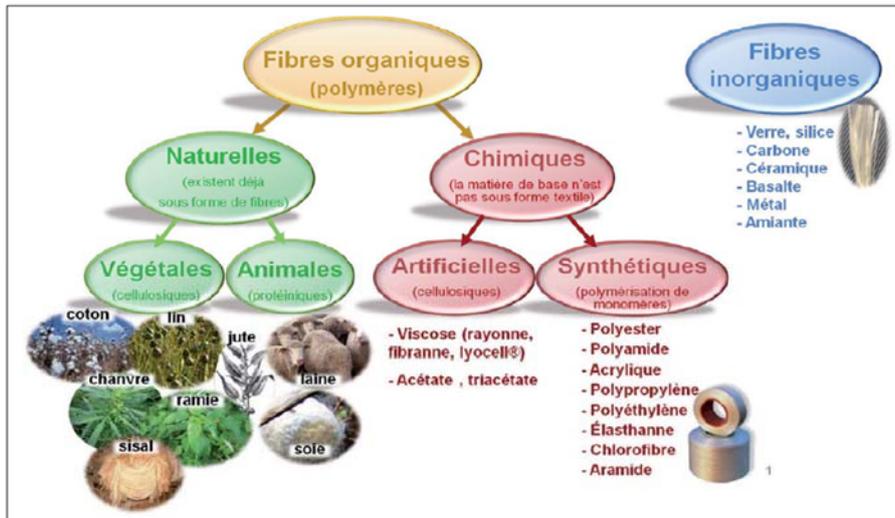


Figure III.6. Différents types de fibres. [38]

#### III.7.1. Les fibres naturelles :

Les fibres sont généralement classées selon leur origine :

##### a. Fibres végétales :

- ❖ Fibres des poils séminaux de la graine (coton kapok).
- ❖ Fibres d'écorce extraites de tiges de plantes (lin, chanvre, jute, ramie).
- ❖ Fibres solides extraites de feuilles (sisal), de troncs (chanvre de manille) d'écorces de fruits (noix de coco).

##### b. Fibres minérales : Les fibres minérales sont utilisées comme la laine.

#### III.7.2. Les fibres synthétiques :

Point de départ des fibres minérales est la laine de roche. Cela signifie que les fibres sont en fait une pierre naturelle. Cela les rend solide, polyvalent, résistant à la chaleur et totalement sans danger pour les humains et l'environnement. [39]

Les fibres synthétiques proviennent principalement du pétrole et du recyclage, et ont des origines à la fois organiques et inorganiques.

**a. Fibres organiques :**

Les principales fibres organiques sont (polyamide, polyester, polypropylène, etc...)

**❖ Fibres polypropylène :**

Les fibres de polypropylène (Figure III.7) sont très longues (30 à 60 mm). Elles sont utilisées généralement pour l'élaboration de revêtement de façades dans les constructions (Londonderry House Hôtel), l'élaboration des panneaux décoratifs et la réalisation des canalisations et des pieux.



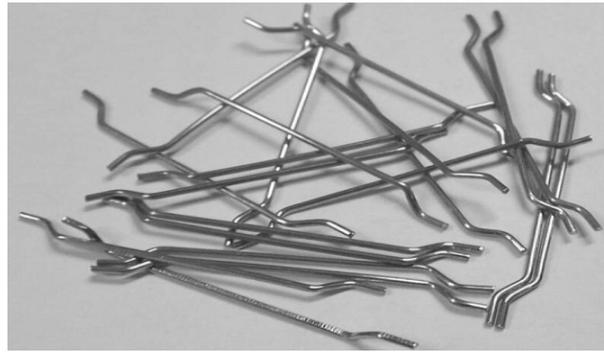
Figure III.7. Fibres polypropylène.



Figure III.8. Fibres polyester PET.

**b. Fibres Inorganiques :****❖ Fibres métalliques :**

Les fibres métalliques (Figure III.9) ont été développées pour renforcer des matériaux de construction tel que le béton par sa faible résistance à la traction, ces additifs des fibres permettent de « couvrir » la matrice pour réduire l'apparence et le développement des fissures. [37]



**Figure III.9.** Fibres Métalliques.

❖ **Fibres de verre :**

Ils présentent (Figure III.10) une très grande fragilité aux chocs due à la grande sensibilité à la fissuration, sous forme de petits diamètre, le verre perd cette propriété, acquiert de bonnes propriétés mécaniques et sont utilisées pour la fabrication des éléments de faibles épaisseurs. [40]



**Figure III.10.**Fibre de verre.

❖ **Fibre de carbone :**

Suivant les conditions de fabrication, il existe toute une variété de fibres de carbone :

- **Les lamelles (Figure III.11) :** Elles sont constituées de fibres de carbone, et caractérisées par:

- Module d'élasticité supérieure à 165 000 MPa.
- Allongement à la rupture supérieur à 17 %.
- Résistance à la traction supérieure à 2 800MPa. [41]

- **Les fibres en tissu (Figure III.12) :** C'est un tissu composé de fibres de carbone insensibles à l'abrasion, souples et légères, parfaitement compatibles avec les formes des supports qu'il recouvre, et pouvant être appliqué jusqu'à trois couches dans le chevauchement, le tissu permet de renforcer des structures avec des formes géométriques complexes. [41]

Les fibres de carbone sont très fragiles, ce qui rend très difficile le mélange du béton avec ces fibres. [42]



Figure III.11.Fibres en lamelles [41] Figure III.12.Fibres en tissu. [41]

Tableau III.1 : Les caractéristiques moyennes des fibres les plus utilisées. [41]

Fibres	Diamètre (mm)	Longueur (cm)	Masse volumique (Kg/cm <sup>3</sup> )	Résistance traction (MPa)	Module E (MPa)	Allongement (%)	Coefficient de dilatation 10 <sup>-6</sup> °C <sup>-1</sup>	R au feu (°C)
Polypropylène	0.01 à 0.1	25 à 75	0.9	400 à 600	4000 à 8000	15 à 20	90	150
Verre	0.006 à 0.020	40 à 70	2.6	1500à3000	80 000	2 à 3	9	600
Acier	0.2 à 0.5	20 à 50	7.9	1000à3000	200 000	3 à 4	11	1500
Carbone	0.005 à 0.01	variable	2	2000	200 000	0.5		400 à 1500
Fonte amorphe	30 à 60 x 0.03 x1	30 à 70	7.2	2500	130 000	2	1	300
Aramide	0.012	10	1.4	2800	80 000	4.2	-2	300

### III.8.Plâtre renforcé avec des fibres :

#### III.8.1.Mortier de plâtre renforcé par des fibres de palmier dattier :

La recherche actuelle sur les matériaux s'intéresse au développement de nouveaux matériaux composites de construction. Le but recherché est l'amélioration des propriétés mécaniques, physiques et durabilité de ces matériaux. A. M. Rachedi et col [16] ont travaillé avec des fibres végétales de palmier dattier. Après une préparation des fibres de palmier dattier, ils ont fixé la longueur de la fibre à  $L=10$  mm et ils ont augmenté le dosage de la fibre par pas de 0,5% pour trouver le bon dosage. Ils ont utilisé aussi un rapport de  $E/(P+S)=0,6$ . Les fibres d'une longueur de 10 mm et du dosage de 1,5% donnent des résultats très satisfaisants pour la résistance à la compression et la flexion. Ces fibres donnent également des résultats acceptables pour la densité et l'absorption de l'eau. A partir de ces résultats, ils ont rapporté que les composites renforcés par des fibres végétales développent des propriétés physiques et mécaniques excellentes. Le mortier de plâtre renforcé par des fibres de palmier dattier peut être utilisé dans le domaine de la construction sous plusieurs formes telles que : les plaques des murs préfabriqués, les murs porteurs ou les plaques de couverture des façades [16]

### III.8.2. Mortier de plâtre renforcé par feillard en polyester et poudre de verre :

Le but principal de cette étude est le développement d'un mortier de plâtre renforcé par le Feillard en polyester (Figure III.13) et poudre de verre, et ce pour l'amélioration de la résistance à la flexion et à la compression sous différents pourcentages. H. Chelabi et col [1] ont travaillé avec un rapport de  $E/P = 0,6$ . Les essais ont été réalisés sur plusieurs types d'éprouvettes, qui sont comme suit : Plâtre témoin ; Plâtre+5% PV ; Plâtre+10% PV ; Plâtre+1% FP+5% PV ; Plâtre+1%FP+10%PV ; Plâtre+2%FP+5%PV ; Plâtre+2%FP+5% PV.

Parmi les conclusions obtenues [1], on cite :

- ❖ L'incorporation des fibres plastiques améliore la résistance à la flexion.
- ❖ L'incorporation de poudre de verre améliore la résistance à la compression avec l'augmentation du pourcentage.
- ❖ Le mélange entre les différents pourcentages de poudre de verre et la fibre de plastique améliore la résistance à la compression et à la flexion des composites obtenus.



Figure III.13: Déchets utilisés : Feuillard en polyester. [1]

### III.8.3. Plâtre renforcé de fibres végétales tropicales (RHECKTOPHYLLUM CAMERUNENSE notée RC) :

En termes de comportement mécanique, les résultats obtenus ont montré que le plâtre est fragile :

- ❖ Module d'élasticité en traction de 1,72 GPa.
- ❖ Résistance à la traction de 0.86 MPa.
- ❖ Allongement à la rupture de 1,16 %.
- ❖ En flexion trois points, son module d'élasticité de 0.64 GPa.
- ❖ La contrainte à la rupture est de 0.13 MPa.

-La fibre de **sisal** est raide et fragile avec :

- ❖ Un module d'élasticité est compris entre 9 et 21 GPa.
- ❖ Elle admet un allongement à la rupture de 3 à 7%.

-Par contre, la fibre RC (Figure III.14) est assez ductile avec :

- ❖ Un module d'Young moyen de 0.7 GPa.
- ❖ Allongement à la rupture de 24.2%.

L'adhérence du plâtre aux fibres est faible, il adhère au sisal plus que RC. Le sisal renforce mieux le plâtre avec une augmentation plus sensible du module d'élasticité de 42.5%, contre 16.3% pour le RC ; ce dernier lui donne une grande ductilité élastique.

Les fibres RC offrent une résistance à la traction maximale au plâtre lorsqu'elles sont tissées uni directionnellement et en flexion lorsqu'elles sont uniformément réparties dans le volume par rapport à la direction longitudinale de la structure. [43].



**Figure III.14:**Le Racktophyllum Camereneuse a-plante. b-racine à l'origine des fibres. c-fibres lavées. [43]

#### III.8.4.Plâtre renforcé par des fibres plastiques des câbles:

Le développement et l'utilisation des matériaux alternatifs sont l'un des facteurs les plus importants pour l'évolution du secteur de la construction. L'ajout de déchets produit aux matériaux de construction traditionnels est un bon moyen d'améliorer la durabilité. Certains se sont concentrés sur l'utilisation des plastiques de câbles comme fibre (Figure III.15) pour renforcer le plâtre, et ce d'une part pour profiter de la matière première et d'autre part pour recycler les déchets et aussi pour améliorer les caractéristiques mécaniques.

Alejandra v. et col [44] ont trouvé que :

- ❖ Plus les fibres sont ajoutées plus le début de prise est rapide,
- ❖ La résistance à la flexion diminue dans tous les cas des composites. Elle a une valeur minimale de 1 N/mm<sup>2</sup>.
- ❖ Les valeurs de la résistance à la compression ont été réduites à moitié dans les mélanges fibrés par rapport aux valeurs de référence. Dans tous les cas elles sont restées supérieures à 2 N/mm<sup>2</sup>.
- ❖ L'absorption capillaire a diminué de plus de 50% par rapport aux valeurs de référence.



**Figure III.15:** Fibres plastique des câbles [44]

### **III.9. Avantages et inconvénients des composites :**

Les composites sont préférés aux autres matériaux car ils offrent des avantages liés à :

- ❖ La légèreté et leur résistance à la rouille et à la fatigue.
- ❖ L'insensibilité aux produits tels que les graisses, les fluides hydrauliques, les peintures et les solvants.
- ❖ Peut prendre de nombreuses formes, intégrer des accessoires et permettre une réduction du bruit.

En revanche, les composites présentent des inconvénients :

- ❖ Les coûts des matières premières et des procédés de fabrication.
- ❖ La gestion des déchets générés
- ❖ Réglementation de plus en plus stricte. [45].

### **III.10. Rôles des fibres dans le plâtre :**

Les fissures se propagent, lorsque les charges appliquées au plâtre se rapprochent du palier de rupture, parfois rapidement. Les fibres intégrées dans le plâtre permettent d'arrêter la progression des fissures. Les fibres en plastiques jouent un rôle similaire, car elles agissent comme des fibres très longues. Cependant, les fibres courtes et discontinues ont l'avantage de mélanger et de disperser le plâtre de manière uniforme. [45]

### **III.11. Conclusion :**

Les propriétés mécaniques des composites sont très sensibles à divers paramètres, notamment: la nature et la qualité des composants, leur morphologie, le taux des fibres, ainsi que leurs orientations et l'état de dispersion dans la matrice, en plus de l'humidité et de la température.

Par conséquent, l'industrie des matériaux composites d'aujourd'hui doit faire face à certains défis tels que la maîtrise des processus de conversion et des performances physiques, d'où l'importance d'une bonne connaissance des composants utilisés.

De plus, la mise en œuvre de technologies et de filières pour la gestion des déchets en fin de vie est la partie la plus difficile à réaliser en raison de la nature thermique de la plupart des composites.

**Chapitre IV**  
**ETUDE**  
**EXPERIMENTALE**  
**/ RESULTATS & DISCUSSION**

### IV.1. Introduction :

Le chapitre IV se consacre à la présentation, la caractérisation des matériaux utilisés et aux résultats obtenus avec leurs interprétations. Le mortier composite de plâtre est un mélange composé de plâtre, d'eau de gâchage ainsi que des fibres plastiques obtenues des déchets de sac de KNAUF. L'incorporation des fibres plastiques dans le mortier de plâtre est réalisée afin d'améliorer les caractéristiques mécaniques et diminuer sa fragilité.

Dans ce chapitre, nous allons étudier les différentes caractéristiques suivantes :

- ❖ Masse volumique
- ❖ Absorption en eau
- ❖ Les propriétés mécaniques (compression, flexion)
- ❖ Les propriétés thermiques (conductivité, la capacité calorifique et la diffusivité)

### IV.2. Matériaux utilisés :

Les composites étudiés sont confectionnés à partir du plâtre commercialisé par l'entreprise KNAUF et de déchets plastiques en polypropylène.

#### IV.2.1. Préparation des fibres utilisées :

Les fibres utilisées sont des déchets plastiques de polypropylène. Ces fibres ont été préparées en découpant les fils des sacs de conditionnement du plâtre (KNAUF) après les avoir nettoyés. La longueur des fibres est de  $12 \pm 1$  mm et la largeur est de  $4 \pm 1$  mm (**Figure IV.1**).



Figure IV.1 : Plâtre KNAUF FLEURUS

**Tableau IV.1:** Les dimensions des fibres polypropylène.

Type de fibre	Matière première	Largeur ( $4 \pm 1$ mm)	Longueur ( $12 \pm 1$ mm)
Polypropylène			

### IV.3.Caractérisation physique :

#### IV.3.1.Masse volumique :

La masse volumique apparente du plâtre varie de  $840$  à  $915$   $\text{Kg/m}^3$  avec une moyenne de  $875$   $\text{Kg/m}^3$  alors que sa masse volumique absolue varie entre  $1300$  et  $1450$   $\text{Kg/m}^3$  avec une moyenne de  $1375$   $\text{Kg/m}^3$ .

#### IV.3.2.Le temps de prise du plâtre :

Le temps de début et de fin de prise a été mesuré à l'aide de l'aiguille de Vicat (Figure IV.2). Les résultats trouvés sont consignés dans le tableau IV.2.



**Figure IV.2 :** Essai de prise avec l'appareil Vicat

**Tableau IV.2 :** Temps de prise du plâtre

	Temps	L (mm)
Début de prise	7min 20s	1.5
Fin de prise	13min 20s	0

### IV.3.3. La consistance normale du plâtre :

Les essais de consistance ont été mesurés en faisant varier le rapport E/P comme montré sur le Tableau IV.3.

**Tableau IV.3 :** Données et résultats des essais de consistance

Le rapport E/P	0.5	0.51	0.52	0.53	0.6
E (g)	400	510	416	428	300
P(g)	800	1000	800	800	500
Diamètre d'étalement	10	12	15	17	25

Selon la recommandation du **D.T.R E6.2.1**, la consistance normale est obtenue lorsque le diamètre de la galette est de 12 cm. Donc, le rapport E/P choisi est égal à 0,51.



**Figure IV.3 :** Mesure de la consistance normale

### IV.4. Formulation des pâtes de plâtre fibré :

Les mortiers étudiés sont confectionnés avec un rapport E/P = 0,51 avec des quantités suffisantes pour remplir des moules  $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$  et  $7 \times 7 \times 28 \text{ cm}^3$ . On considère que tous les pourcentages de déchet plastiques sont par rapport à la quantité du plâtre de la composition concernée.

Les éprouvettes ( $4 \times 4 \times 16$ )  $\text{cm}^3$  serviront pour réalisées les essais de :

- ❖ Détermination de la densité
- ❖ Résistance de traction par flexion
- ❖ Résistance à la compression

Alors que les éprouvettes de ( $7 \times 7 \times 28$ )  $\text{cm}^3$  seront utilisées pour les essais de :

- ❖ Absorption d'eau
- ❖ Etude thermique

Après le malaxage, les mélanges confectionnés sont déversés dans le moule puis vibrés manuellement pour éviter les problèmes de ségrégation. Les surfaces sont arasées et lissées à l'aide d'une spatule. Quinze minutes après la fin de prise, les éprouvettes sont démoulées et placées à l'air libre jusqu'au jour de l'essai.



Figure IV.4 : Epreuves réalisées ( $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ )

Dans notre étude, nous avons planifié d'utiliser plusieurs longueurs de fibres, mais vu la situation sanitaire (à cause de la pandémie Covid-19) nous avons travaillé uniquement avec des longueurs de fibres égales à 12 mm.

Cependant, nous avons fait varier le pourcentage des fibres de 0 à 2% avec des pas de 0,5%.

### IV.5. Essais mécaniques :

#### IV.5.1. Essai de rupture par traction :

L'essai de traction des éprouvettes prismatiques (4x4x16 cm<sup>3</sup>) est un essai mécanique utilisé pour tester la résistance à la flexion. On utilise la flexion dite « trois points » avec une vitesse de mise en charge de 50 N/s ± 10 N/s, le dispositif est présenté par la figure IV.5 :

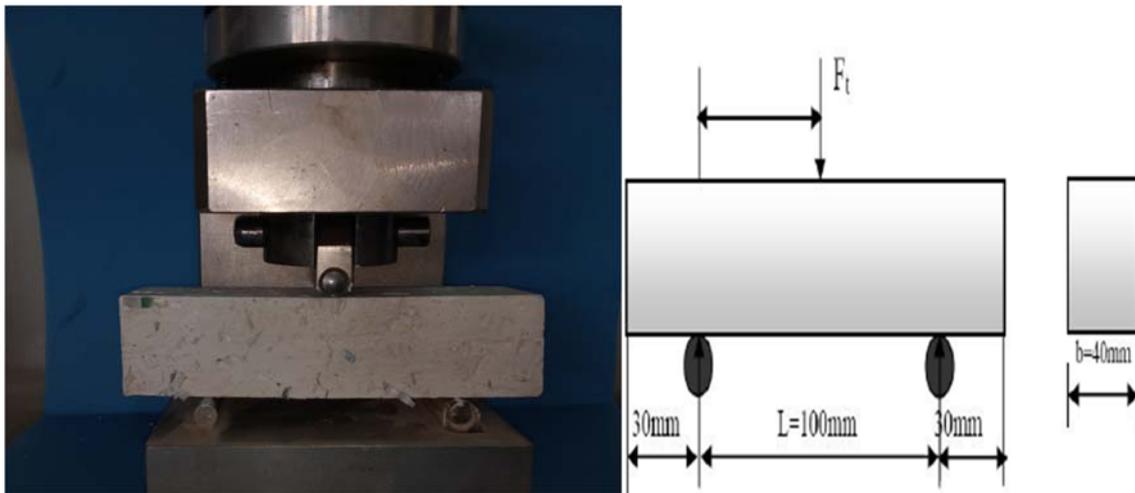


Figure IV.5: Dispositif pour l'essai de résistance à la traction

La résistance à la rupture par flexion est donnée au moyen de la formule suivante:

$$R_f = \frac{1.5F_fL}{B^3}$$

Où :

**L**: Distance entraxe des rouleaux d'appuis de l'éprouvette 4x4x16 cm<sup>3</sup>.

**L**=10cm ;

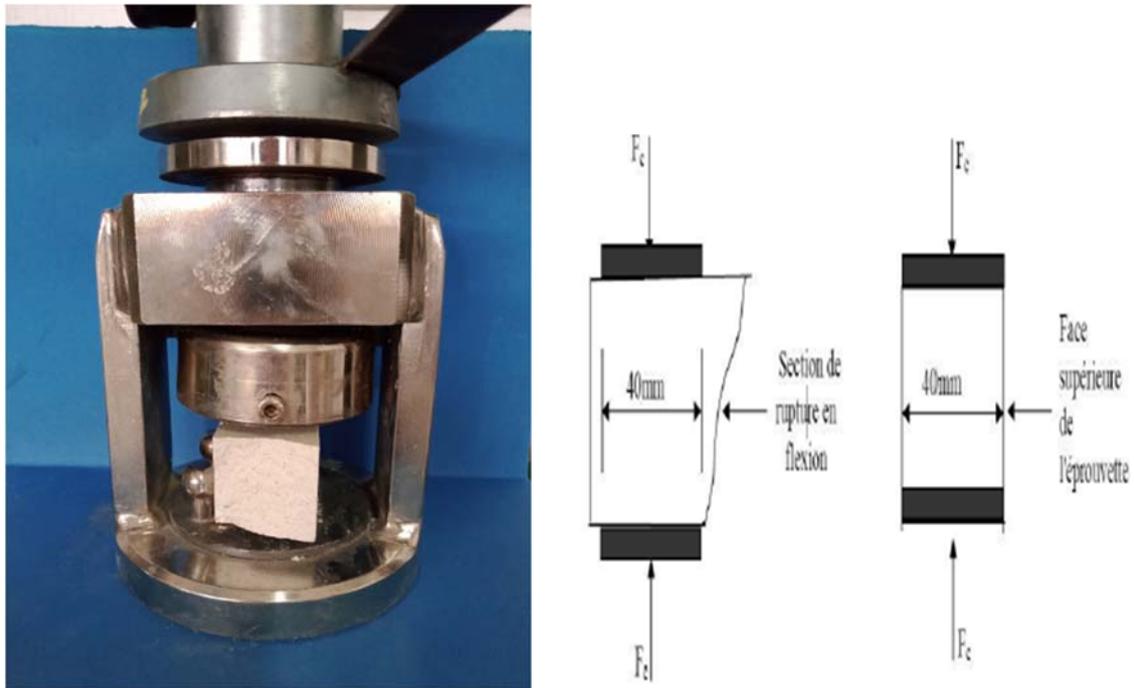
**R<sub>f</sub>**: Résistance à la flexion en **MPa** ;

**F<sub>f</sub>** : Charge à la rupture en **N**.

**B**: Largeur de la section carrée du prisme en mm (b = 40 mm).

#### IV.5.2. Essai de compression :

L'essai de compression consiste à exercer une force de compression sur l'éprouvette jusqu'à l'écrasement de l'échantillon étudié. L'essai de compression est présenté dans la Figure IV.6



**Figure IV.6 :** Dispositif pour l'essai de résistance à la compression

La valeur de la contrainte de rupture à la compression est exprimée par la formule suivante :

$$R_c = \frac{F_c}{a^2}$$

Avec  $R_c$ : Résistance à la compression en MPa

$F_c$ : Charge à la rupture en N.

$a$  : Largeur de la section carrée en mm ( $a=40\text{mm}$ )

#### IV.6. Propriétés thermiques :

On a mesuré la conductivité thermique, la capacité calorifique et la diffusivité thermique en utilisant l'appareil ISOMET Quickline 30 du laboratoire LABMAT à l'ENPO d'ORAN suivant la norme ISO 8302-91 pour les divers plâtres composites (Figure IV.7). On a testé trois échantillons pour chaque formulation de dimension  $7 \times 7 \times 7 \text{ cm}^3$  à la température ambiante.



**Figure IV.7 :** Appareil ISOMET Quickline 30 [46]

**IV.7. Résultats et discussion:**

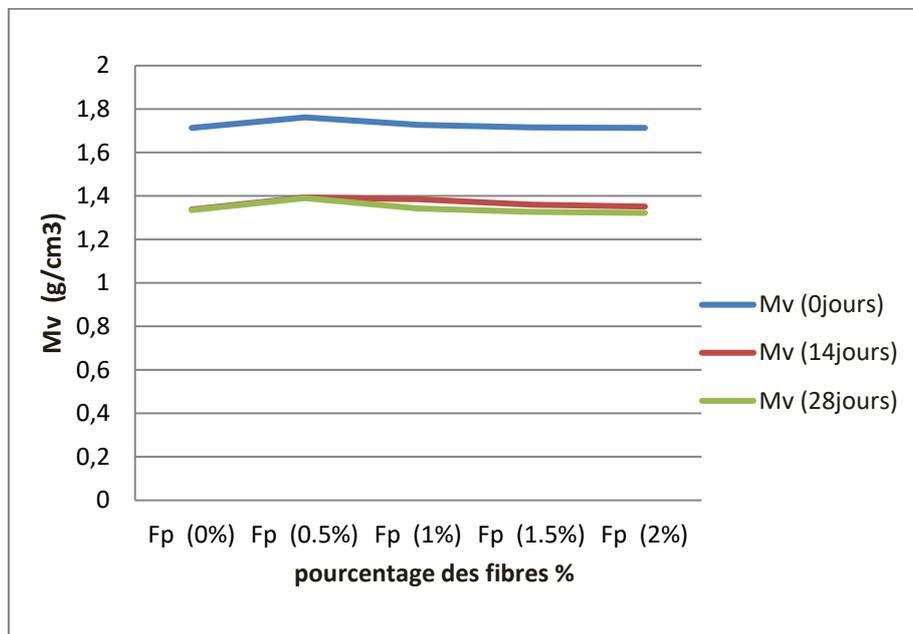
**IV.7.1. Variation de la masse volumique du mélange en fonction des ajouts des fibres plastiques (polypropylène) :**

La masse volumique est le rapport entre la masse de l'échantillon et son volume correspondant, c'est la moyenne de 3 essais (Tableau IV.4) :

$$\rho = \frac{M}{v} \dots \dots \dots [Kg/m^3]$$

**Tableau IV.4:** La variation des masses volumiques du mortier plâtre en fonction des ajouts des fibres plastique (polypropylène).

Pourcentages des fibres (%)	Mv (0 jours) Kg/m <sup>3</sup>	Mv (14 jours) Kg/m <sup>3</sup>	Mv (28 jours) Kg/m <sup>3</sup>
Fp (0%)	1.713	1.338	1.335
Fp (0.5%)	1.762	1.393	1.390
Fp (1%)	1.727	1.385	1.342
Fp (1.5%)	1.715	1.360	1.327
Fp (2%)	1.713	1.351	1.322



**Figure IV.8:** Variation de la masse volumique en fonction du pourcentage des fibres

D'après la figure IV.8, on remarque que la masse volumique du composite de 14 et 28 jours de cure a tendance de diminuée par rapport a celle de 0 jour.

La masse volumique la plus élevée a été constatée lorsque le pourcentage des fibres est de 0.5%. Au-delà de ce seuil, la masse volumique diminue à cause de l'augmentation du volume des vides.

### IV.7.2. Absorption Capillaire :

L'essai consiste à mettre les éprouvettes de mortier (7x7x28cm<sup>3</sup>) de différents pourcentages des fibres dans l'étuve pendant 24h. Ensuite, ces éprouvettes sont immergées partiellement dans l'eau à 1cm de profondeur. L'eau absorbée est déterminée à plusieurs instants (30', 1', 3', 5', 10', 15', 20', 30', 40', 50', 60', 70', 80', 90').

Le coefficient d'absorption d'eau est donné par la relation suivante :

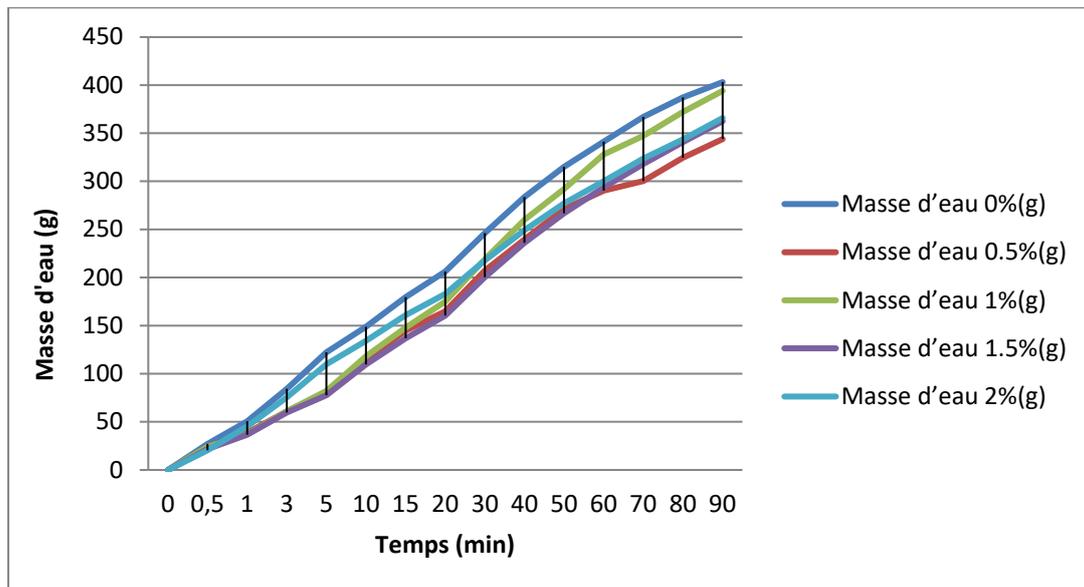
$$Ca = \frac{M_h - M_s}{A}$$

Avec :

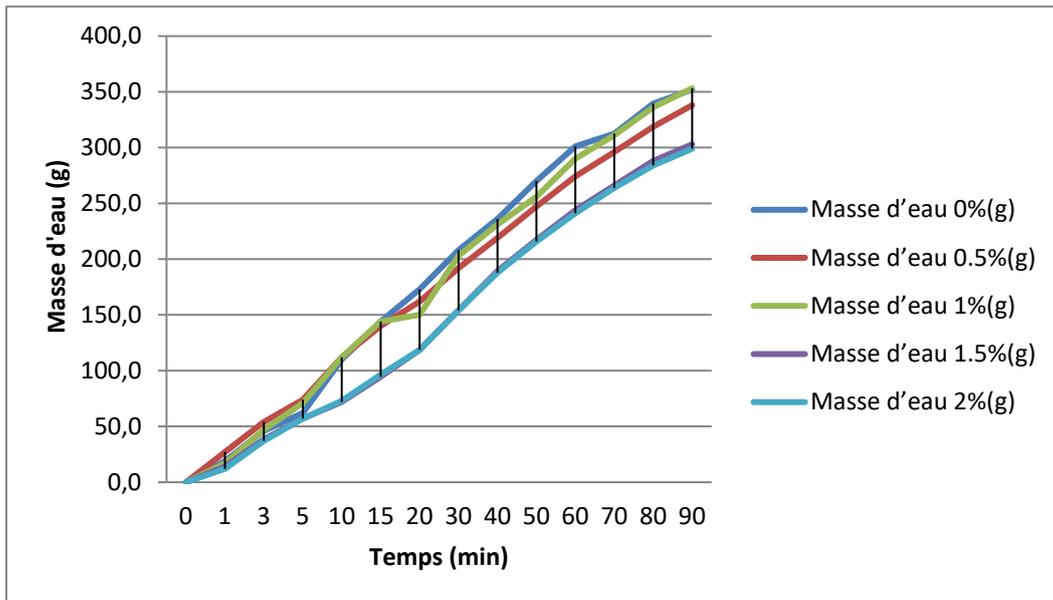
$M_h$  : La masse de matériau humide en Kg

$M_s$  : La masse de matériau sec en Kg

A : surface en contact avec l'eau (1x28 cm)



**Figure IV.9:** Variation de la masse d'eau absorbée en fonction du temps et du pourcentage des fibres (à 14 jours)

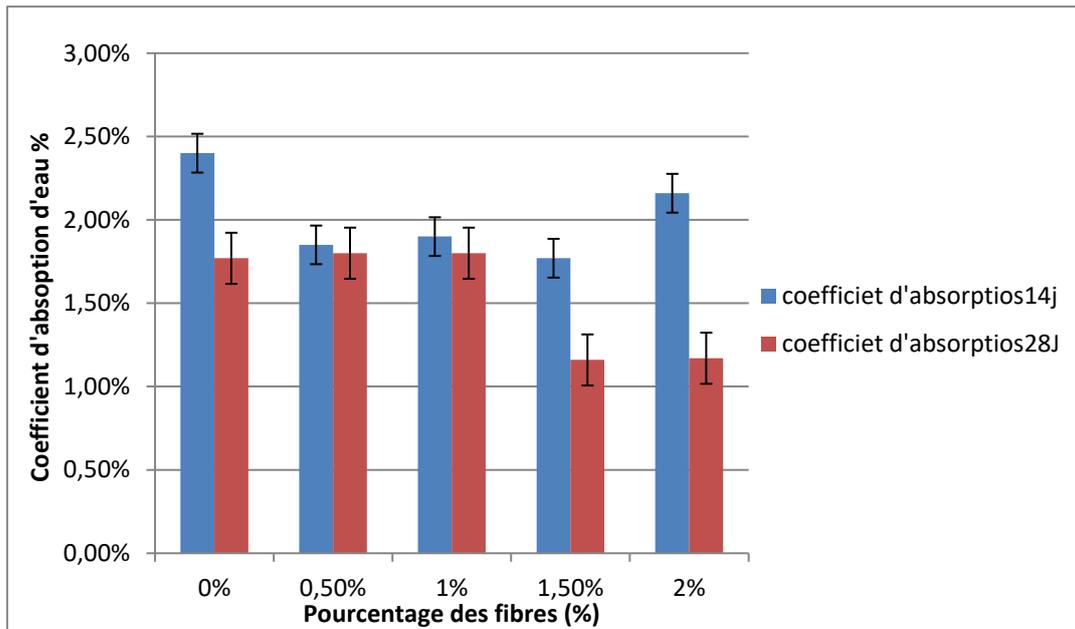


**Figure IV.10** Variation de la masse d'eau absorbée en fonction du temps et du pourcentage des fibres (à 28 jours)

Les figures IV.9 et IV.10 montrent l'évolution de la masse d'eau absorbée en fonction du pourcentage des fibres en polypropylène. Il est clair que la masse d'eau absorbée augmente avec le temps et diminue en fonction d'ajout des fibres. On peut dire que la nature hydrophobe de ces fibres est la cause principale de la diminution de la quantité d'eau.

Nos résultats concordent avec ceux obtenus par [16]. Ils ont travaillé sur du plâtre renforcé par des fibres de palmiers dattiers.

Par ailleurs, nous avons remarqué que le coefficient d'absorption capillaire diminue avec l'âge de l'échantillon comme la montre la figure IV.11, ceci est due à cause de l'âge de l'échantillon. Car au 14<sup>ème</sup> jour, le plâtre était encore humide à cause des fibres. Nous constatons aussi que ce coefficient diminue avec l'augmentation du taux de fibres et ce, surtout à l'âge de 28 jours. Ceci est dû à la nature hydrophobe des fibres.



**Figure IV.11 :** Variation du coefficient d’absorption capillaire en fonction du pourcentage en masse de fibres à 14 jours et 28 jours

**IV.7.3.Résistance à la compression :**

D’après les résultats regroupés sur les Tableaux IV.5 et IV.6 représentés par la Figure IV.12 on peut constater que la résistance à la compression diminue en augmentant le pourcentage des fibres dans les mélanges.

Il semble que l’ajout des fibres entraîne une augmentation des vides dans les mélanges et du coup entraîne une diminution de la résistance mécanique.

[1] ont trouvé que la résistance à la compression à l’âge de 28 jours augmente avec l’ajout de la fibre plastique de 7,3 MPa pour la composition (plâtre + 1% FP) et à 7,7 MPa pour la composition (plâtre + 2% FP). Cela est dû à l’incorporation des fibres plastiques. Ces dernières participent aussi dans l’amélioration de la résistance à la compression.

Par contre, [16] ont montré que l’ajout des fibres du palmier dattier a permis d’augmenter la résistance jusqu’à un certain seuil. Au-delà d’un pourcentage de 1.5%, ces fibres font chuter la résistance

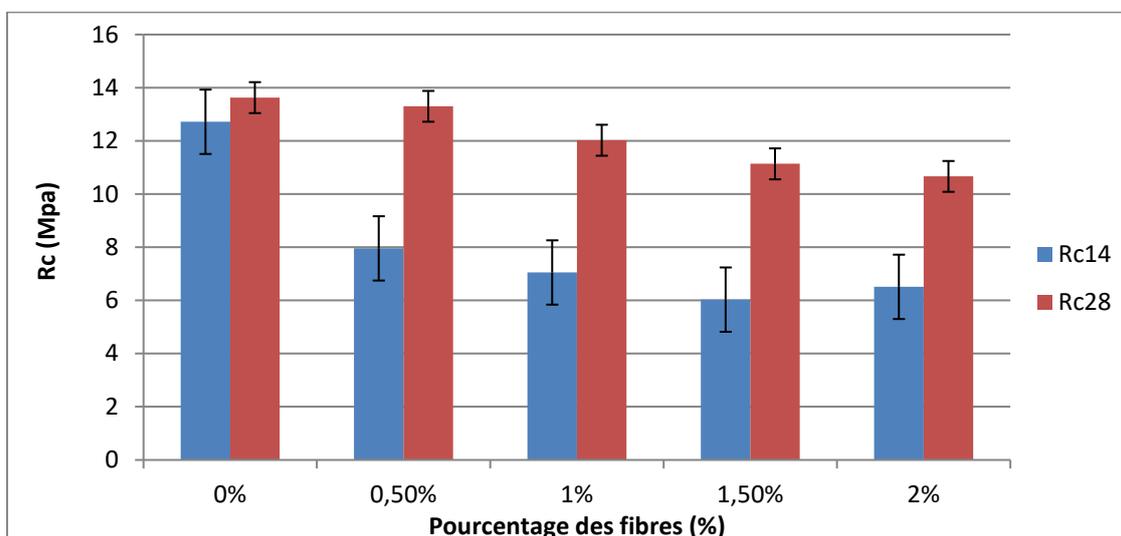
**Tableau IV.5 :** Variation de la résistance à la compression en fonction du pourcentage des fibres à 14 jours.

Pourcentage	0%	0.50%	1%	1.50%	2%
Fc1	20.91	12.34	10.44	10.12	10.43
Fc2	22.75	12.37	11.63	9.51	10.69
Fc3	20.08	12.31	11.62	9.87	10.95
Fc4	20.05	12.8	12.65	10.34	10.25
Fc5	18	16.44	10.74	10.11	11.27
Fc6	21.53	12.69	11.28	10.03	9.89

Ecart-type	1.6064454	1.6203631	0.7791192	0.2828191	0.4965078
Rc	12.72	7.96	7.05	6.03	6.51

**Tableau IV.6 :** Variation de la résistance à la compression en fonction du pourcentage des fibres à 28 jours

Pourcentage(%)	0%	0.50%	1%	1.50%	2%
Fc1	20.58	21.79	20.07	16.96	17.15
Fc2	21.11	22.34	18.9	18.55	18.43
Fc3	21.96	20.54	19.8	17.45	16.92
Fc4	24.5	21.08	18.13	17.55	16.98
Fc5	22.37	21.84	18.12	17.96	17.41
Fc6	20.32	20.09	20.42	18.45	15.91
écart types	1.535912324	0.8603488	0.9997	0.6162467	0.81532
Rc	13.628	13.3	12.025	11.137	10.666



**Figure IV.12:** Variation de la résistance à la compression en fonction de pourcentage des fibres à 14et28 jours.

#### IV.7.4. Résistance à la flexion :

La Figure IV.13 montre que la résistance à la flexion des plâtres fibrés décroît par rapport aux plâtres non fibrés (voir Tableaux IV.7. et IV.8). Il se peut que l'effet de la géométrie et l'orientation des fibres puisse avoir un effet important d'où l'intérêt d'effectuer une étude dans ce sens pour valider nos résultats. On note la diminution de la résistance à la flexion des mortiers de plâtre renforcés par des fibres par rapport au mortier témoin.

Par contre [16] ont trouvé qu'il y a une augmentation de la résistance à la flexion pour une teneur de (2% de FP). Cette croissance est due à l'augmentation du pourcentage de fibres plastiques, car ces dernières jouent un grand rôle dans la résistance à la flexion. Vu que la résistance à la flexion de ces fibres est élevée.

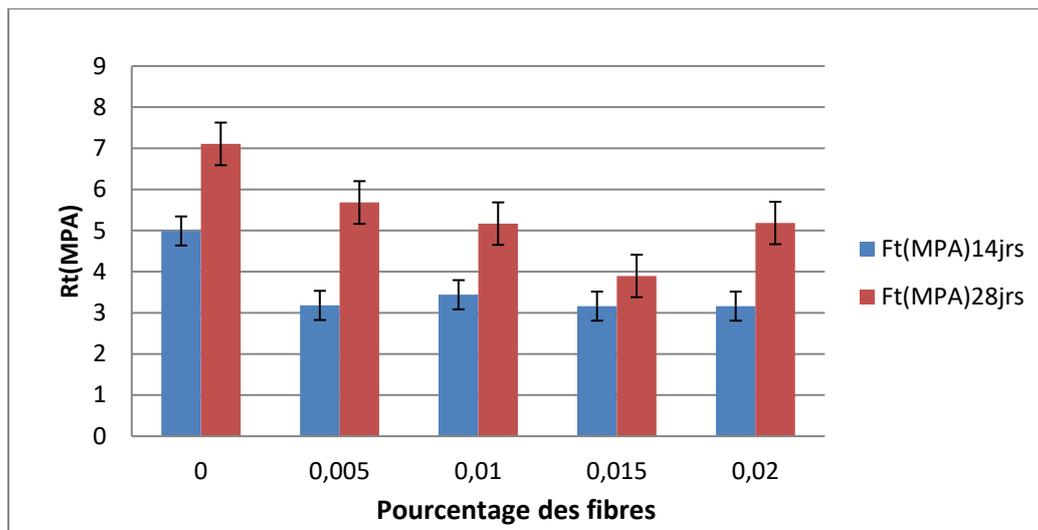
## Chapitre IV: Etude expérimentale/ Résultats et discussion

**Tableau IV.7 :** Variation de la résistance à la flexion en fonction du pourcentage des fibres à 14 jours.

pourcentage(%)	0%	0.5%	1%	1.5%	2%
Ft1	2.46	1.36	1.82	1.07	1.15
Ft2	1.91	2.56	1.22	1.59	1.54
Ft3	2.02	1.37	1.44	1.35	1.38
Ecart types	0.291032644	0.689951689	0.3013857	0.2602563	0.1960442
Rt	4.992	3.18	3.44	3.164	3.164

**Tableau IV.8. :** Variation de la résistance à la flexion en fonction de pourcentage des fibres à 28 jours.

Pourcentage	0%	0.5%	1%	1.5%	2%
Ft1	2.86	2.56	2.19	1.93	2.27
Ft2	2.77	2.45	1.99	1.96	2.72
Ft3	3.47	2.27	2.44	1.7	1.65
Ecart-type	0.38083242	0.146401275	0.225462488	0.1422439	0.5372461
Rt	7.108	5.685	5.17	3.897	5.187



**Figure IV.13:** La variation de la résistance à la flexion en fonction du pourcentage des fibres à 14 et 28 jours.

### IV.8. Etude des propriétés thermiques du plâtre composite

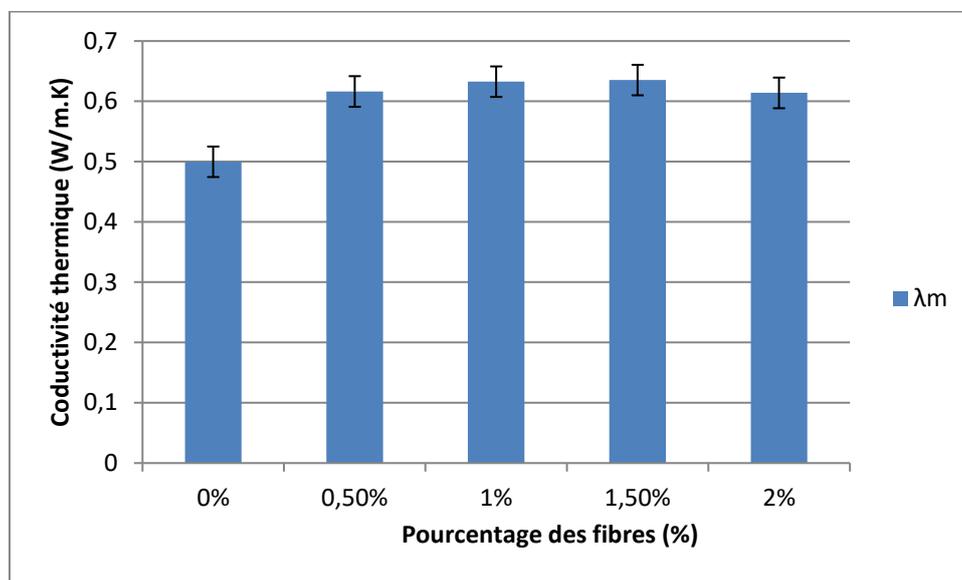
Les résultats présentés dans le Tableau IV.9 et la Figure IV.14 montrent l'influence des dosages des fibres sur les conductivités thermiques du plâtre fibré. On peut remarquer que la conductivité thermique augmente en fonction de l'ajout des fibres.

## Chapitre IV: Etude expérimentale/ Résultats et discussion

**Tableau IV.9 :** Les conductivités thermiques du plâtre composite en fonction du dosage des fibres.

Pourcentage(%)	0%	0,50%	1%	1,50%	2%
$\lambda_1$	0,495	0,606	0,625	0,608	0,602
$\lambda_2$	0,524	0,604	0,614	0,651	0,643
$\lambda_3$	0,48	0,639	0,659	0,647	0,597
$\lambda_M$	0,4996667	0,6163333	0,6326667	0,6353333	0,614
écart types	0,0223681	0,0196554	0,0234592	0,0237557	0,0252389

Où :( $\lambda$ ) est la conductivité thermique mesurée en [ $W.m.^{-1}.K^{-1}$ ]



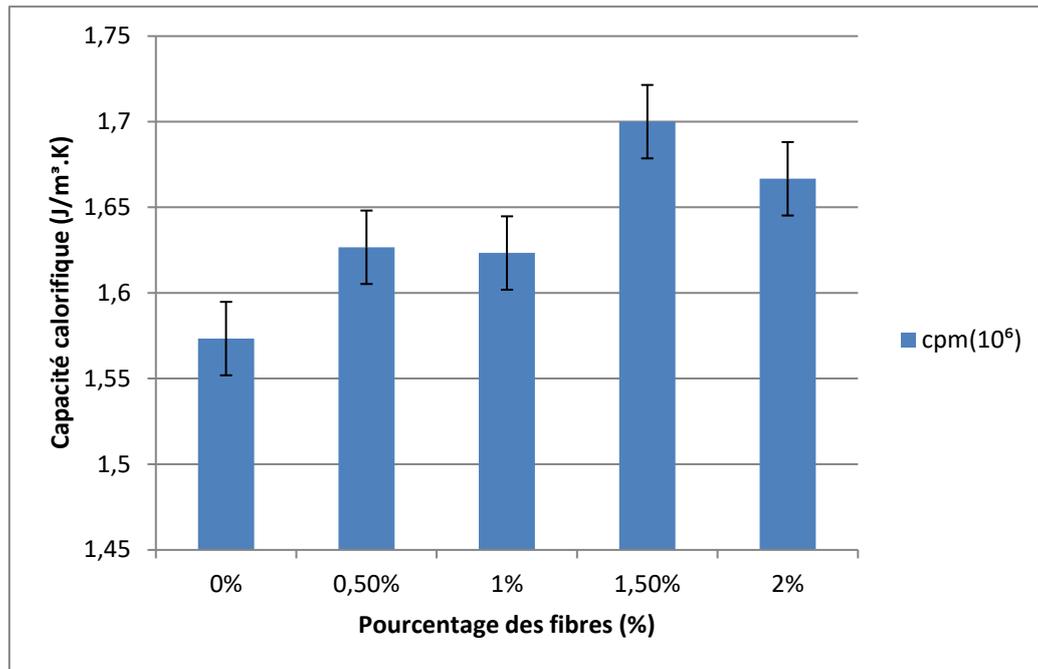
**Figure IV.14:** Variation de la conductivité thermique en fonction du dosage des fibres

Figure IV.15 et le Tableau IV.10 illustrent la variation de la capacité calorifique à température ambiante. On note que cette variation augmente en fonction du pourcentage des fibres ajouté. Ce qui confirme la mesure de la conductivité thermique.

**Tableau IV.10:** La capacité calorifique en fonction du pourcentage des fibres

Pourcentage	0%	0.5%	1%	1.5%	2%
Cp1	1.59	1.61	1.69	1.71	1.73
Cp2	1.56	1.61	1.5	1.72	1.66
Cp3	1.57	1.66	1.68	1.67	1.61
Cpm( $10^6$ )	1.5733333	1.626666	1.6233333	1.7	1.6666667
Ecart type	0.0152753	0.0288675	0.1069268	0.026475	0.0602771

Où : (Cp) est la capacité calorifique mesurée en [ $J/m^3.K$ ].



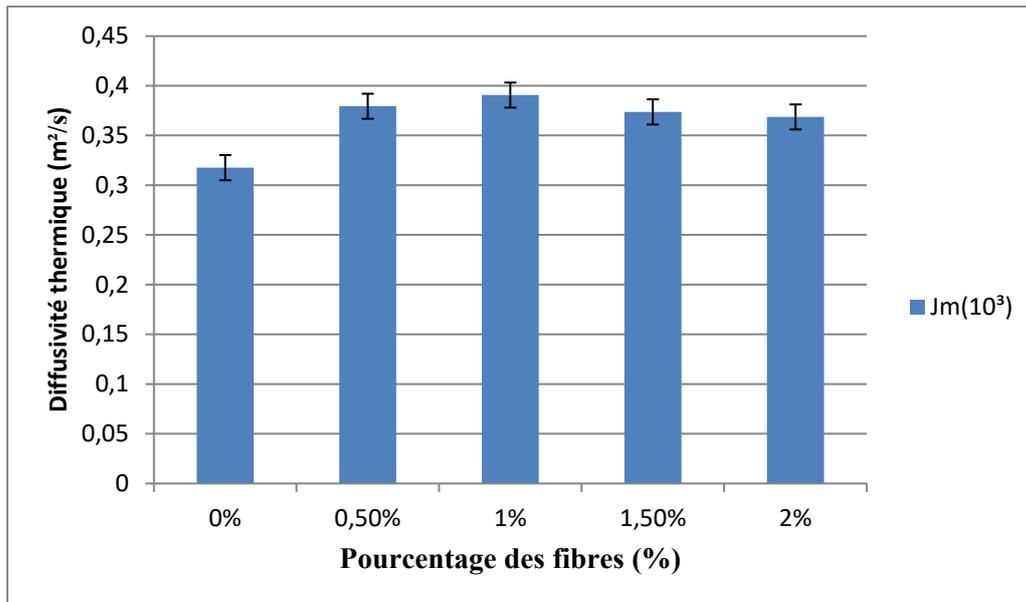
**Figure IV.15:** Variation de la capacité calorifique en fonction de pourcentage des fibres.

La Figure IV.16 montre que les valeurs de la diffusivité thermique sont très proches pour le plâtre renforcé par des fibres. Ce résultat peut s'expliquer par une meilleure consolidation et réparation de la matrice par les fibres.

**Tableau IV.11 :** La diffusivité thermique en fonction de pourcentage des fibres.

Pourcentage	0%	0.5%	1%	1.5%	2%
a1	0.318	0.376	0.369	0.355	0.348
a2	0.33	0.378	0.41	0.379	0.387
a3	0.305	0.384	0.393	0.387	0.371
$a_m(10^{-6})$	0.3176667	0.3793333	0.3906667	0.3736667	0.3686667
Ecart type	0.0125033	0.0041633	0.0205994	0.0166533	0.0196044

Où : (a) est la diffusivité thermique exprimée en [m²/s].



**Figure IV.16:** Variation de la diffusivité thermique en fonction du pourcentage des fibres.

### IV.9.Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons fait plusieurs essais sur du plâtre renforcé par des fibres plastiques d'une longueur de 12 mm, tels que : plâtre témoin sans fibre, plâtre + 0,5% FP, plâtre + 1%FP, plâtre + 1,5%FP et plâtre + 2%FP. Parmi les conclusions obtenues, nous citons :

- ❖ L'incorporation des fibres plastiques diminue la résistance à la flexion des mortiers plâtres à différents teneurs et ce, par rapport aux éprouvettes témoins. Il se peut que l'effet de la géométrie et l'orientation des fibres aient un effet sur cette diminution.
- ❖ La résistance à la compression diminue avec l'augmentation des teneurs en fibres. Il semble que l'ajout des fibres entraîne une augmentation des vides dans les mélanges.
- ❖ L'absorption de l'eau des mortiers plâtres avec des fibres diminue légèrement. Nous avons obtenu un meilleur résultat pour la teneur de 0,5% en fibres.
- ❖ Nous avons remarqué qu'il y a une légère augmentation de la conductivité thermique des mortiers plâtres en fonction d'ajout des fibres.
- ❖ Vu la pandémie de COVID-19, la grande partie du programme expérimental qui a été prévue pour cette étude est non finalisée.

### Conclusion générale :

Notre mémoire de recherche s'inscrit dans le cadre de la contribution expérimentale pour la valorisation des déchets plastiques des sacs de plâtre de marque KNAUF utilisées sous forme de fibres dans un composite à base de plâtre. A l'issue de la recherche bibliographique et des résultats trouvés, nous pouvons apporter les conclusions suivantes :

- ❖ Sur le plan mécanique, l'incorporation des fibres étudiées dans les composites à base de plâtre fait chuter la résistance à compression et à la flexion qui est dû probablement à l'augmentation des vides dans les mélanges.
- ❖ L'utilisation des fibres à base de sac de plâtre KNAUF font diminuer l'absorption capillaire. A ce titre, une teneur de 0,5% en fibres est recommandée.
- ❖ Sur le plan thermique, les fibres étudiées font augmenter légèrement la conductivité thermique des mortiers plâtres.

Il est recommandé de continuer la recherche sur ce type de composite pour avancer la recommandation de l'utilisation des matériaux sur le marché.

Malheureusement, en raison de la pandémie COVID 19, une partie du travail expérimental a été annulée. Il est donc recommandé de faire plus d'investigations sur ces fibres en plastiques.

En perspective, il serait intéressant d'étudier l'effet de la longueur de ces fibres sur les comportements mécanique et thermique de ces composites.

Il serait aussi judicieux de traiter le phénomène d'adhérence de ces fibres au plâtre en étudiant l'interface.

## Bibliographie

- [1] H. Chelabi & Z. Taleb, *Amélioration des propriétés mécaniques du plâtre de construction avec des déchets plastiques et verre*, Mémoire de Master, Université de Bouira, 2017.
- [2] A. ABDELADIM & S. BENBATOUCHE, *Elaboration et contribution à l'étude de sacs tissés oxo-biodégradables à base de PP et PE*, Mémoire de Master, Université de Béjaïa, 2013.
- [3] M. SYLAIN, *Etude de comportement mécanique du plâtre prise en relation avec sa microstructure*, INSA de Lyon (France). Thèse de doctorat, 2001.
- [4] Groupe formation continu de L'ENSA, Marseille - Luminy, en octobre 2008.
- [5] P. Marteau, *Mémento roches et minéraux industriels Gypse et anhydrite*, BRGM France. Juin 1993 .
- [6] F. CHARPENTIER, M. FONTAINE, J. FOUIN, V. STELMACH, *le plâtre matériau noble*. - MAISONS PAYSANNES DE FRANCE, 2000, N°138 p. 17-32.
- [7] D. Daniel, « *technique de l'ingénieur "plâtre "* » C910 v3, France, 10 mai 2002.
- [8] «[www.auxjoyauxdelanature.com](http://www.auxjoyauxdelanature.com),» [En ligne].
- [9] I. Remmache, *Potentiel en substances utiles non métalliques(gypse et sel gemme)*, 2006.
- [10] C. Martias, *Synthèse et caractérisation de matériaux composites à base de sulfate de calcium destinés à la protection incendie*, *These de Doctorat, Université de Toulon, France.*, 2011.
- [11] «[http://www.tunisie\\_industrie.nat.tn/fr/download/idees/ID/37\\_fabrication\\_du\\_platre\\_orthopedique](http://www.tunisie_industrie.nat.tn/fr/download/idees/ID/37_fabrication_du_platre_orthopedique),» [En ligne].
- [12] *Le plâtre et la construction durable/Syndicat National des Industries du Plâtre*, septembre 2016.
- [13] *Gypsum systems, Fire resistance design manuals sound control, 19th Edition GA-600-(2009)*, (2009).
- [14] I. RAHMANIAN, *Thermal and mechanical properties of gypsum boards and their influences on fire resistance of gypsum board based systems*, *School of Mechanical, Aerospace and Civil Engineering, PHD*, University of Manchester, UK (2011).

- [15] A. Bourezeg, « *conception et réalisation de Vicat* » Université mouhamed boudiaf, M'sila., (2016).
- [16] A. M. Rachedi, contribution à l'étude de la durabilité de mortier de plâtre à base de sable de dunes renforcé par des fibres de palmier dattier, These de magister, Université de Ouargla 2013.
- [17] *Fiche technique "Plaque du plâtre Tabouab standards TS" Bou-sâada.*
- [18] M. Kebier, *Usage du plâtre dans l'ancien bâti (Cas de timchemt à Ghardaïa) 2017.*
- [19] Bâle, la convention de Bâle, 1989.
- [20] S. barles, les rejets du métabolisme, 2005.
- [21] E. Gobbo, Déchets de construction matière a conception: Analyse des stocks et flux de matières dans le cadre des opérations de rénovation énergétique en Région de Bruxelles-Capitale, These de Doctorat, Université de Louvain, Belgique Novembre 2015.
- [22] *Définition légale selon la directive, EUR-Lex, 2008.*
- [23] «Les déchets domestiques, Typologie et Classification,» 2019.
- [24] D. d. construction, «<https://www.clikeco.com/P-57-88-F1-dechets-de-chantier-de-construction-gestion-et-valorisation.html>,» 2008. [En ligne].
- [25] «sacs enduits en polypropylène biodégradable,» *Enduits, sasace/société algérienne de sac*, 2014.
- [26] «<https://www.spasasace.com/a-propos/>,» [En ligne].
- [27] Processus de gestion et traitement des déchet, France.
- [28] M. d. l. Agence de l'Environnement, *Valorisation des déchets*, 13 Juillet 1992.
- [29] *Loi n° 01 -relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets*, L'algérie, 12 décembre 2001.
- [30] F. BOELHY, *Snef guide des dechets*, SNEF, France, Novembre, 2010.
- [31] V. Julia, *écologie industrielle et valorisation des déchets*, laval, France, 2006.
- [32] Y. Djebbloun, *Généralité sur les matériaux composites*, Université de Biskra, 2004.
- [33] *Jean –Marie Berthelot, mécanique des matériaux et structures composites. 2013., J.*

- [34] A. Ben khedda, *Effet de la contrainte thermique sur l'endommagement transversal d'un matériau hybride Lin-Chanvre/Polyéthylène*, Master, Université de Saida, (2019).
- [35] L. GENDRE, *Matériaux composites et structures composites*, ENS Cachan, France, 2011.
- [36] Chayma Chaabani : *Composites à fibres de carbone : récupération des fibres par solvolysse hydrothermale. Impact sur la qualité des fibres et valorisation de la phase liquide. thèse doctorat (France) Novembre 2017..*
- [37] C. Gyeongcheol. et G. Kim, *Effect of amorphous metallic fibre on mechanical proprieties of high-strength concete expose to high temperature*, 2019.
- [38] Guy Némoz, *le textile, un matériau multifonctionnel*. Chimie et l'Habitat, EDP Sciences, France, 2011
- [39] «<https://www.lapinus.com/about-us/benefits-of-mineral-fibre/>,» [En ligne].
- [40] O. FEDAOUI-AKMOUSSI *Étude du comportement mécanique et durabilité des bétons fibrés : influence de différents environnements et de la nature des fibres. These de Doctorat, Université de Tizi-Ouzou. Algérie 2016.*
- [41] Alberto.F, *Le béton des fibres*, 2007.
- [42] *Valorisation des fibres naturelles dans le renforcement des chaussées 7/2018.*
- [43] F.Ebanda, *Etude des propriétés mécanique et thermique du plâtre renforcé de fibres végétales tropicales*, These de Doctorat, Université BLAISE PASCAL - Clermont II, France, 2012.
- [44] V. Alejandra et al., *Analysis if the feasibility of the use of CDW as a low-environmental impact aggregate in conglomerates*, *Construction and Bulding Materials*, Volume 178, Pages 83-91, 30 July 2018.
- [45] L. Amkhenfi & H. Karou, *Valorisation des déchets plastiques dans le matériau plâtre*, Master, Université de Bouira, 2018.
- [46] ISO 8302-91, *Thermal insulation: Determination of steady-state thermal resistance and related properties - Guarded hot plate apparatus.*, 1991.