



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



**Université Amar Thelidji- Laghouat**

**FACULTÉ : Génie civil et d'architecture**

**DÉPARTEMENT : Génie Civil**

## **MÉMOIRE DE MASTER**

**Présenté par : Mokhtari Elhadj**

**DOMAINE : Science et Technologie**

**FILIERE : Génie Civil**

**OPTION : Matériaux en Génie Civil**

### **Thème**

Caractérisation physico-mécanique d'un mortier  
de plâtre renforcé avec les fibres végétales du  
palmier dattier.

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

| <b>Nom et Prénom</b>               | <b>Grade</b> | <b>Qualité</b>    |
|------------------------------------|--------------|-------------------|
| <b>KHENFER Mohammed<br/>Mouldi</b> | <b>Pr</b>    | <b>Président</b>  |
| <b>Nouioua Taher</b>               | <b>MAA</b>   | <b>Examineur</b>  |
| <b>Djoudi amina</b>                | <b>MCA</b>   | <b>Rapporteur</b> |

**Promotion : 2023 - 2024**

---

## ***Dédicaces***

*J'adresse mes salutations de mon père, mokhtari al-tayeb, qui m'a soutenu financièrement et moralement dans mon parcours universitaire.*

*Et pour ma fierté et ma vie, ma mère \_ben kattas fatima\_ qui a été mon soutien, et grâce à elle et à Dieu Tout-Puissant, je suis là aujourd'hui. Et à ceux qui m'ont toujours encouragé et aidé, que je considérais comme mon père ben kattas ali, et ma tante mokhtari fatna et à mes frères, je souhaite qu'ils arrivent là où je suis aujourd'hui Et à mes amis et à tous les professeurs du Département de Génie Civil .*

---

## ***Remerciements***

**Je remercie avant tout Allah de m'avoir donné le courage et  
l'optimisme de finir ce travail.**

**Je tiens à remercier ma promotrice, Melle Djoudi Amina,  
pour ses  
conseils, ses orientations et sa disponibilité durant  
l'élaboration de ce  
travail.**

**Mes vifs grands remerciements et notre sincère gratitude à  
Messieurs *Khenfer Mohammed Mouldi et Nouioua Taher*  
pour avoir accepté d'évaluer ce travail et d'avoir  
accepté de faire partie de notre jury de mémoire**

**Mes remerciements à tous les enseignants du  
département de Génie  
Civil en et à toute l'équipe de laboratoire de génie civil  
pour tous les**

**efforts qui ont fait à bien mener notre formation et notre  
projet de fin  
d'étude.**

---

## الملخص

الملخص: يتزايد التزام قطاع البناء بتطوير مواد محلية تلبي معايير المقاومة والأداء الميكانيكي والمعياري الاقتصادي للقيمة مقابل المال. من أجل تحسين الأداء الميكانيكي للجص، نختار دمج ألياف تقوية نباتية وفيرة مثل ألياف النخيل بجرعات مختلفة (0.5%، 1%، 1.5% و 2%) وأطوال مختلفة (20، 30 و 40 ملم). لتقييم مساهمتها في الخصائص الفيزيائية والميكانيكية، حيث تم الحصول على أقصى مقاومة انحناء بنسبة ألياف 2% لطول 30 ملم يتم الحصول على أفضل قوة انحناء لجرعة 2% من الألياف الطويلة 40 ملم. لكن قوة الانضغاط تنخفض مع إضافة ألياف نخيل التمر، بغض النظر عن الطول. تم تسجيل انخفاض في الكثافة على عكس امتصاص الماء

الكلمات المفتاحية: الجص الليفي، الجبس، الألياف الطبيعية، المواد البنائية، الجص، مقاومة الانحناء

---

## Abstract

**Abstract :** The construction field keep seeking for ecological and local materials, which needs an enlargement of the use by enhancing materials properties to achieve a material design with the needed criteria (resistance and economic). Our mortar use plaster and gypsum witch make it cheaper, to enhance the resistance we incorporate natural fibers (date palm) on various dosage (0.5%,1%,1.5% and 2%) and three lengths 20, 30 and 40mm to investigate their effect on flexural and compressive strength. The maximum flexural strength is achieved by 2% of fibers with a length of 40mm. but the Compressive strength decreases with the addition of date palm fibers regardless of length. A decrease of the bulk density is recorded contrary to the absorption of water.

**key words:** Fibrous plaster, gypsum, natural fiber, ecological materials, plaster, flexural strength.

---

## Résumé

**Résumé :** Le domaine de la construction s'engage de plus en plus à développer des matériaux locaux répondant au critère de résistance et performances mécaniques et au critère économique avec le rapport qualité prix. Dans le but d'élargir le domaine d'utilisation des composite de plâtre aidant au développement durable, on s'engage à développer un mortier de plâtre où on le renforce avec des fibres de palmier dattier de différentes longueurs (20, 30 et 40mm) et à différents taux (0.5, 1, 1.5 et 2%). À fin d'étudier ces propriétés physico-mécaniques, La meilleure résistance à la flexion est obtenu pour un dosage de 2% des fibres de 40mm de longueur. mais la résistance à la compression diminue avec l'ajout de fibres de palmier dattier, quelle que soit la longueur. Une diminution de la masse volumique est enregistrée contrairement à l'absorption d'eau.

**Mots clés :** Plâtre fibré, gypse, fibre naturel, éco-matériau, plâtre, résistance à la flexion

---

## ***Table de matière***

---

***Remerciement***

***Dédicace***

***Résumé***

**Liste des notations Utilisées**

**Introduction Générale.....02**

### ***CHAPITRE I : RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUES***

**Introduction Generale ..... 02**

**Chapitre I : ..... 03**

**Partie A : Généralités sur le plâtre..... 03**

**I.1. Introduction..... 04**

**1.2. Plâtre..... 05**

**1.2.1. Matière première ..... 05**

**1.2.2. Différentes Origines de plâtre ..... 05**

**A - Anhydrite ..... 06**

**B – Gypse..... 07**

**1.2.2.2 Origine synthétique ..... 07**

**1.2.3. Principe de Fabrication..... 08**

**1.2.3.1 .L'extraction..... 09**

**1.2.3.2. La réception du gypse et criblage..... 10**

**1.2.3.3. La cuisson..... 10**

**1.2.3.4. L'excitation..... 10**

**1.2.3.5. Mélange et matériaux..... 11**

**1.2.3.6. Suivi et validation des produits ..... 11**

**1.2.3.7. Emballage et logistique ..... 11**

**1.2.4. Les différents types de plâtre ..... 12**

**1.2.4.1.Plâtre de construction ..... 12**

**1.2.4.1. Plâtre à mouler ..... 12**

**1.2.4.1.Plâtre dentaire ..... 12**

**1.2.4.4 .Plâtre artistique ..... 12**

**1.2.4.5. Plâtre de moulage industriel ..... 12**

**1.2.5. Forme de plâtre et son utilisation..... 12**

---

## *Table de matière*

---

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.2.5.1 • Poudre de plâtre .....                                                         | 13 |
| 1.2.5.3 •Moulages en plâtre .....                                                        | 13 |
| 1.2.5.4. •Bandes de plâtre .....                                                         | 14 |
| 1.2.5.5 •Blocs de plâtre .....                                                           | 15 |
| 1.2.5.6 •Plâtre dentaire .....                                                           | 15 |
| 1.2.5.3.1. Les enduits pelliculaires .....                                               | 16 |
| 1.2.6- Recyclage du plâtre .....                                                         | 17 |
| 1.2.7- La Valorisation du Plâtre .....                                                   | 18 |
| 1.2.8-Domains d'utilisation de plâtre .....                                              | 19 |
| 1.2.9. Domaine de construction et urbanisme Actuellement .....                           | 20 |
| 1.2.9.1. Enduits .....                                                                   | 20 |
| 1.2.9.2. Matériaux de construction préfabriqués .....                                    | 21 |
| 1.2.9.3. Autres utilisations .....                                                       | 21 |
| 1.2.10-Eléments préfabriqués à base de plâtre .....                                      | 21 |
| 1.2.11- Caractéristiques du plâtre .....                                                 | 22 |
| 1.2.12. Propriétés physiques et mécaniques du plâtre.....                                | 23 |
| 1.2.12.1- Prise Les produits .....                                                       | 23 |
| 1.2.12.2- Durcissement Le processus de durcissement comporte trois phases.....           | 24 |
| 1.2.12.2.- Facteurs influents sur la prise et le durcissement .....                      | 24 |
| 1.2.12.3 - Adjuvants Les accélérateurs de prise :.....                                   | 24 |
| <br><i>Partie B: Généralités sur les composites et sur les bétons de fibres</i>          |    |
| 1.3. Matériaux composites .....                                                          | 26 |
| 1.3.1. Définition.....                                                                   | 27 |
| 1.3.2.1.1. Composites à fibres .....                                                     | 28 |
| 1.3.2.1.2. Composites à particules .....                                                 | 28 |
| 1.3.2.2. Classification suivant la nature des constituants .....                         | 29 |
| 1.3.2.2.1. Composites à matrice organique (résine, charges) avec.....                    | 31 |
| 1.3.2.2.2. Composites à matrice métallique .....                                         | 31 |
| 1.3.2.2.3. Composites à matrice minérale (céramique).....                                | 31 |
| 1.4.1. Définition.....                                                                   | 32 |
| 1.4.2. Composition chimique de la fibre naturelle La fibre végétale est compose de ..... | 33 |
| 1.4.2.1. cellulose.....                                                                  | 33 |

---

## *Table de matière*

---

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.4.2.3. La lignine.....                                                                  | 34 |
| 1.4.3. Morphologie de la fibre végétale Sur le plan morphologique .....                   | 35 |
| 1.4.4. Structure de la fibre végétale .....                                               | 36 |
| 1.4.5. Les fibres végétales du palmier dattier.....                                       | 37 |
| 1.4.6. La plante de fibres végétales du palmier dattier .....                             | 38 |
| 1.4.7. Propriété de fibre végétale du palmier d'attier.....                               | 39 |
| 1.4.8. Extraction de les fibres végétales du palmier dattier .....                        | 40 |
| 1.4.9. Avantages de la plante pour l'environnement .....                                  | 41 |
| 1.5. Béton ou mortier fibré .....                                                         | 42 |
| 1.5.1.Définition .....                                                                    | 42 |
| 1.5.2- Le rôle des fibres .....                                                           | 42 |
| 1.5.3. Propriétés des bétons fibrés.....                                                  | 43 |
| 1.5.3.1. Influence des fibres sur la rhéologie .....                                      | 44 |
| 1.5.3.2. Influence des fibres sur le comportement mécanique .....                         | 44 |
| 1.5.4. Caractéristiques des composites cimentaires incorporant des fibres végétales ..... | 45 |
| 1.5.5. Propriétés à l'état frais.....                                                     | 45 |
| 1.5.5.1. Maniabilité des composites à l'état frais.....                                   | 45 |
| 1.5.6. Propriétés à l'état durci.....                                                     | 46 |
| 1.5.6.1. Facteurs influents .....                                                         | 46 |
| 1.5.7. Comportement mécanique d'un composite cimentaire bio fibré .....                   | 47 |
| 1.5.7.1.Comportement en flexion.....                                                      | 47 |
| 1.5.7.2. Comportement en compression .....                                                | 47 |
| 1.5.8. Durabilités des composites cimentaires a fibres végétales .....                    | 47 |
| 1.5.9. Composite à base de plâtre et des fibres.....                                      | 48 |
| Conclusion.....                                                                           | 49 |

### *Chapitre II Caractérisation des matériaux utilisés et méthodes expérimentales*

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| II.1. Introduction.....                                          | 51 |
| II.2.Matériaux utilisés.....                                     | 51 |
| II.2.1. Plâtre .....                                             | 51 |
| II.2.1.1. Analyse chimique du plâtre.....                        | 51 |
| II.2.1.2. Analyse minéralogique par diffraction par rayon x..... | 52 |
| II.2.1.3. Masse volumique absolue (NFP 18-555).....              | 52 |
| II.2.1.3.1. Le principe de mesure .....                          | 52 |

---

## *Table de matière*

---

|                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.2.1.3.2. Équipements nécessaires.....                                                       | 52 |
| II.2.1.3.3. Mode opératoire .....                                                             | 53 |
| II.2.1.4. Masse volumique apparente (NFP 18-555) .....                                        | 54 |
| II.2.1.4.1. Le principe de mesure .....                                                       | 54 |
| 1.2.1.4.2. Équipements nécessaires.....                                                       | 54 |
| II.2.1.4.3- Mode opératoire .....                                                             | 55 |
| II.2.1.5. Compacité et Porosité (NFP 18-555).....                                             | 55 |
| II.2.1.6- Détermination de temps de début et fin de prise (NF B 12-401).....                  | 56 |
| 11.2.1.6.1- Principe L'essai.....                                                             | 56 |
| II.2.1.6.2- Équipements nécessaires .....                                                     | 56 |
| II.2.1.6.3- Mode opératoire .....                                                             | 57 |
| II.2.1.7.-Détermination de la résistance mécanique d'un matériau .....                        | 58 |
| 1.2.1.7.1- Équipements et matériaux nécessaires.....                                          | 58 |
| 1.2.1.7.2- Mode Opératoire .....                                                              | 58 |
| II.2.2 sable .....                                                                            | 59 |
| II.2.2.1. Masse volumique apparente NEP 18-555.....                                           | 59 |
| II.2.2.2. Masse volumique apparente par la méthode d'éprouvette graduée ( NEP 18555)<br>..... | 59 |
| II.2.2.3.Coefficient d'absorption.....                                                        | 60 |
| II.2.2.4.Compacité et Porosité NFP 18-555 .....                                               | 60 |
| II.2.4.1. Compacité .....                                                                     | 60 |
| II.2.2.5. Equivalent de sable.....                                                            | 60 |
| II.2.2.5.1.Principe de l'essai .....                                                          | 60 |
| II.2.2.6. Morphologique des grains de sable alluvionnaires.....                               | 61 |
| II.2.2.7. Analyse granulométrique (EN 933-1) .....                                            | 62 |
| II.2.2.7.1. Principe L'essai.....                                                             | 62 |
| II.2.2.7.2. Mode opératoire .....                                                             | 62 |
| II.2.2.7. Module de finesse de sable (EN 933-1) .....                                         | 63 |
| II.2.3.La chaux .....                                                                         | 63 |
| II.2.3.1 Analyse chimique de la chaux utilisée .....                                          | 64 |
| II.2.4. Eau de gâchage .....                                                                  | 64 |
| II.2.5. Les fibres végétales du palmier dattier.....                                          | 64 |

---

## ***Table de matière***

---

|                                                         |           |
|---------------------------------------------------------|-----------|
| <b>II.3 Formulation Des Composite en plâtre .....</b>   | <b>66</b> |
| <b>II.3.1. Le processus de malaxage .....</b>           | <b>68</b> |
| <b>II.3.2. Conservation des éprouvettes.....</b>        | <b>68</b> |
| <b>II.4. Caractérisation physique .....</b>             | <b>68</b> |
| <b>1.4.1. Masse volumique .....</b>                     | <b>68</b> |
| <b>II.5. Caractérisation mécanique .....</b>            | <b>68</b> |
| <b>II.5.1. Résistance à la flexion EN 196-1 .....</b>   | <b>69</b> |
| <b>II.5.2.Résistance à la compression EN 196-1.....</b> | <b>69</b> |
| <b>Conclusion.....</b>                                  | <b>70</b> |

### **Chapitre III Résultats et interprétations**

|                                                                                                                  |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b><i>Introduction.....</i></b>                                                                                  | <b>72</b> |
| <b>II.Influence de la longueur et du dosage de fibre sur les propriétés physique de platre...</b>                | <b>73</b> |
| <b>III .Influence de la longueur et du dosage de fibre sur les propriétés physique du mortier de platre.....</b> | <b>73</b> |
| <b>IV. Microstructure des mortiers de platre renforcés par les fibres du palmier dattier..</b>                   | <b>76</b> |
| <b>Conclusion.....</b>                                                                                           | <b>77</b> |
| <b>Conclusion Générale.....</b>                                                                                  | <b>79</b> |
| <b>Référence Bibliographiques .....</b>                                                                          | <b>81</b> |
| <b>Les Normes Utilisés.....</b>                                                                                  | <b>85</b> |
| <b>Annexes .....</b>                                                                                             | <b>87</b> |

---

## *Table de Figure*

---

### **CHAPITRE I : RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUES**

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure I.1: Organigramme de cycle du plâtre.....                             | 05 |
| Figure I.2: Différents systèmes de cristallisation de gypse.....             | 06 |
| Figure I.3 : Principe de fabrication du plâtre .....                         | 09 |
| Figure I.4: Procédé de fabrication de plâtre .....                           | 11 |
| Figure I.5 :Poudre de plâtre .....                                           | 13 |
| Figure I.6 : Plaque de plâtre .....                                          | 13 |
| Figure I.7: Moulages en plâtre .....                                         | 14 |
| Figure I.8: Bondes de plâtre. ....                                           | 14 |
| Figure I.9:Blocs de Plâtre.....                                              | 15 |
| Figure I.10 : Exemple de plâtre dentaire .....                               | 15 |
| Figure I.10 : Déchet de plâtre récupéré.....                                 | 17 |
| Figure I.11 : Recyclage de Plâtre.....                                       | 18 |
| Figure I.12 : Cycle de valorisation des déchet de plâtre .....               | 19 |
| Figure I.13:Panneaux et cloisons plâtre et Elément plafond.....              | 22 |
| Figure I.14 :Matériau composite .....                                        | 27 |
| Figure I.15 : Fibre de verre .....                                           | 29 |
| Figure I.16 : Fibre de carbone .....                                         | 29 |
| Figure I.17 : Fibre de kevlar.....                                           | 29 |
| Figure I.18 : fibre de polyamide .....                                       | 30 |
| Figure I.19 : Le bore .....                                                  | 30 |
| Figure I.20 : Fibre d'aluminium.....                                         | 30 |
| Figure I.21 :Particules de Nitrures.....                                     | 31 |
| Figure I.22 : Particules de carbures.....                                    | 31 |
| Figure I.23 : classification des fibres naturelles .....                     | 33 |
| Figure I.24 : Classification des fibres naturelles d'origines végétale ..... | 33 |
| Figure I.25 : Structure de la cellulose .....                                | 34 |
| Figure I.26 : Structure de l'hémicellulose.....                              | 34 |

---

## *Liste des Figures*

---

|                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure I.26 : Structure de la lignine .....                                                      | 35  |
| Figure I.27 : Structure d'une fibre .....                                                        | 36  |
| Figure I.28: Schéma de la microstructure d'une fibre végétale .....                              | 36  |
| Figure I.29: Photo d'un palmier .....                                                            | 38  |
| Figure I.30: Extraction de les fibres végétales du palmier dattier.....                          | 41  |
| <br><b>CHAPITRE II : CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISES ET<br/>TECHNIQUES EXPERIMENTALES</b> |     |
| Figure II.1 : Plâtre utilisé. ....                                                               | 51  |
| Figure II.2: Diffraction gramme du plâtre utilisé. ....                                          | 52  |
| Figure II.3 : Equipement nécessaire pour l'essai de la masse volumique absolue ....              | 53  |
| Figure II.4 : Protocole de l'essai .....                                                         | 54  |
| Figure II.5: Dispositif pour l'essai de la masse volumique apparente.....                        | 55  |
| Figure II.6: Appareil de Vicat .....                                                             | 56  |
| Figure II.7: Courbe granulométrique de sable alluvionnaire.....                                  | 62  |
| Figure II.8:Essai coefficient d'absorption .....                                                 | 59  |
| Figure II.9: la chaux utilisée .....                                                             | 63  |
| Figure II.10 : Fibres végétales du palmier dattier à l'état transformé.....                      | 64  |
| Fig II.11 Les fibres végétales du palmier dattier coupées en différents longueurs.....           | 65  |
| <br><b>CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRETATIONS</b>                                           |     |
| Figure III.1:Resistance à la flexion .....                                                       | 62  |
| Figure III.2: Résistance à la Compression.....                                                   | 63  |
| Annexes .....                                                                                    | 100 |
| Figure III.1 : Préparation de Mélanges.....                                                      | 102 |
| Figure III.2: Remplissage de Moules.....                                                         | 102 |
| Figure III.3: Les éprouvettes montre la distribution des fibres.....                             | 103 |

---



## *Liste des Tableaux*

---

### **CHAPITRE I : RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUES**

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau 1.1: Classification de la pierre à plâtre.....                   | 07 |
| Tableau 1.2: compositions chimique des fibres végétales.....             | 48 |
| Tableau 1.3: Propriétés morphologiques de quelques fibres végétales..... | 49 |

### ***Chapitre II :Caractérisations des matériaux utilisés et méthodes expérimentales***

|                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau II.1 : Analyse chimique du plâtre.....                                                | 63 |
| Tableau II.2 : Détermination de Début de fin de prise Pour Un plâtre de<br>construction ..... | 69 |
| Tableau II.3 : Propriétés mécaniques du plâtre.....                                           | 71 |
| Tableau II.4: Résultats obtenus de l'équivalent de sable.....                                 | 73 |
| Tableau II.5 : analyse chimique de la chaux utilisée.....                                     | 78 |
| Tableau II.6 :Propriétés physico-mécanique des fibres du palmier dattier.....                 | 79 |
| Tableau II.7 : Mélanges.....                                                                  | 80 |

### ***Chapitre III : Résultats et interprétations***

|                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tableau III.1 : Résultats de flexion et compression des différents mélanges..... | 86  |
| Tableau (Annexes) : Composition Chimique de leau de gâchage (A.D.E-Laghout)..... | 100 |

---

## Liste des notations

---

### Notation

**PC (Construction Plâtre)** : Définition de cette variable et son rôle dans l'étude.

***papp (densité apparente)*** : Expliquez ce que représente cette mesure et comment elle se rapporte aux propriétés du gypse.

***pabs (densité absolue)*** : Définir cette mesure et son importance dans l'évaluation de la qualité du gypse.

***Mf (unité de finesse)*** : Expliquez ce que mesure ce paramètre et son effet sur les propriétés du gypse.

**ES (Sand Equivalent)** : Description de cette variable et sa relation avec la texture et la composition de l'enduit.

**Abs (coefficient d'absorption)** : Présentation de cette mesure et son rôle dans l'évaluation de la porosité du gypse.

***Rf (résistance à la flexion)*** : Expliquez ce que mesure cette grandeur et son importance dans la dureté du gypse.

***Rc (résistance à la compression)*** : Déterminez cette mesure et sa relation avec la capacité du gypse à supporter des charges.

***PF (Plâtre avec Fibre de Palme)*** : Présentation de cette variable et son effet sur les propriétés mécaniques du plâtre.

**MP**: Mortier de plâtre.

**NEP** : Norme Française Page

# ***Introduction générale***

### Introduction générale

Le plâtre est un matériau très utilisé pour les finitions des constructions que se soit pour l'enduit, carreaux ou bloc de séparation. Vue l'ampleur de son utilisation, le développement de ces performances mécaniques devient nécessaire pour répondre au différents besoins de la communauté de construction. L'utilisation des fibres comme matériaux de renforcement que se soit incorporé , où les matériaux de construction que se soit cimentaire ou polymère, on opte pour l'addition des fibres que se soit des fibres naturelles avec leurs provenance minérale telles que les fibres de basalte, verre ou végétal issue des plantes. L'utilisation de fibre végétale est accompagné par des défis a relavée en terme de leurs dérivabilité et durabilité et leurs propriétés hydrophiles.

Quant à l'utilisation de fibres végétales pour renforcer les matériaux de construction, c'est une pratique qui gagne en popularité en raison de ses nombreux bienfaits. Des fibres végétales extraites de sources naturelles comme le bambou, le chanvre, le lin ou le sisal, sont incorporées à divers matériaux de construction pour améliorer leurs propriétés mécaniques, thermiques et environnementales. Cette introduction explorera les principaux avantages de l'incorporation de fibres végétales, notamment leur légèreté, leur biodégradabilité, leur haute disponibilité et leur faible coût. Ces fibres sont souvent renouvelables, recyclables et biodégradables, ce qui contribue à réduire l'impact environnemental global de la construction. De plus, il peut améliorer les propriétés thermiques des matériaux, assurer une meilleure isolation et ainsi réduire la consommation d'énergie pour le chauffage et le refroidissement des bâtiments.

Ce travail est divisé en trois chapitres:

- **Le premier chapitre** est consacré à des recherches bibliographiques sur le plâtre, le mortier et le béton de plâtre, ainsi qu'à des informations générales sur les matériaux composites et les fibres
- **Le deuxième chapitre** traite l'étude de la caractérisation physique, chimique et mécanique des matières premières utilisées dans la préparation des composite étudiés et des techniques expérimentales.
- **Le troisième chapitre** comprend des interprétations des résultats expérimentaux liés au comportement physique et mécanique de la pâte pure et à la flexibilité du mortier plâtre à base de fibres de palmier dattier.

# ***Chapitre I : Recherches bibliographiques***

---

## **Chapitre I : Recherches bibliographiques**

---

### **Chapitre I : Recherches bibliographiques**

#### **Partie A : Généralités sur le plâtre**

##### **I.1. Introduction**

Le plâtre est un matériau de construction largement utilisé depuis des siècles pour ses propriétés polyvalentes. Il est principalement composé de gypse calciné, un minéral naturel abondant. Le processus de fabrication du en poudre fine. Une fois mélangé à de l'eau, le plâtre forme une pâte malléable qui durcit rapidement lorsqu'elle est exposée à l'air, en raison de la réaction chimique qui se produit entre le gypse et l'eau.

Le plâtre est utilisé dans de nombreux domaines de la construction, y compris la finition intérieure des murs et des plafonds, la création de moulages décoratifs, la fabrication de plaques de plâtre pour les cloisons sèches, et même dans certains procédés de moulage industriels. Ses avantages incluent sa facilité d'utilisation, sa capacité à produire des surfaces lisses et planes, sa résistance au feu et sa durabilité. De plus, le plâtre est un matériau écologique car il est non toxique et recyclable. Cependant, le plâtre présente également quelques inconvénients, notamment sa sensibilité à l'humidité, sa relative fragilité par rapport à d'autres matériaux de construction et sa tendance à se fissurer avec le temps. Malgré ces limitations, le plâtre reste un choix populaire dans de nombreux projets de construction en raison de sa polyvalence et de sa facilité d'utilisation. Les corps chimiques ioniques qui constituent ordinairement la poudre sèche de plâtre sont en réalité diverses formes complexes produites par la déshydratation thermique du gypse, à base d'hémi hydrate de sulfate de calcium de formule  $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ , et/ou d'anhydrite  $\text{CaSO}_4$  ou sulfate de calcium anhydre. Après gâchage à l'eau, cette poudre incolore à blanche, parfois jaune-pâle ou brune, permet l'obtention d'un matériau blanchâtre relativement dur après séchage, correspondant au gypse reformé qui n'est que du sulfate de calcium déshydraté, de formule  $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ . De nombreux adjuvants ou additifs, y compris des charges, pigments et colorants, peuvent aussi entrer dans la composition du plâtre. Le plâtre fait essentiellement référence à un matériau de construction doté de propriétés isolantes ou ignifuges et est fabriqué industriellement à partir de gypse, une matière première de roche. En pratique, le terme désigne soit une poudre de départ ou substance pulvérulente artificielle (enduit sec à alléger), une pâte constituée d'un mélange de poudre et d'eau à appliquer (enduit prêt), un matériau comprimé, par exemple sous forme de dalles, voire un revêtement en plâtre ou enduit appliqué. [1]

### 1.2. Plâtre

#### 1.2.1. Matière première

La matière première principale utilisée dans la production de plâtre est le gypse, un minéral naturel composé de sulfate de calcium déshydraté ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Le gypse est abondant dans de nombreuses régions du monde et peut être extrait de carrières minières à ciel ouvert ou souterraines. Le processus de fabrication du plâtre commence par l'extraction du gypse brut, qui est ensuite broyé en une poudre fine. Cette poudre est ensuite calcinée à une température d'environ **150 à 165°C** dans un four rotatif, ce qui élimine l'eau de cristallisation du gypse et transforme le sulfate de calcium déshydraté en héli hydrate ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ ), également appelé plâtre cuit ou plâtre  $\alpha$ .

Une fois le gypse calciné, il est broyé à nouveau pour obtenir une poudre fine, prête à être utilisée dans la fabrication de divers produits à base de plâtre. Lorsque cette poudre est mélangée à de l'eau, elle forme une pâte malléable qui durcit rapidement en un matériau solide et résistant.

- La déshydratation se fait selon la figure suivante:

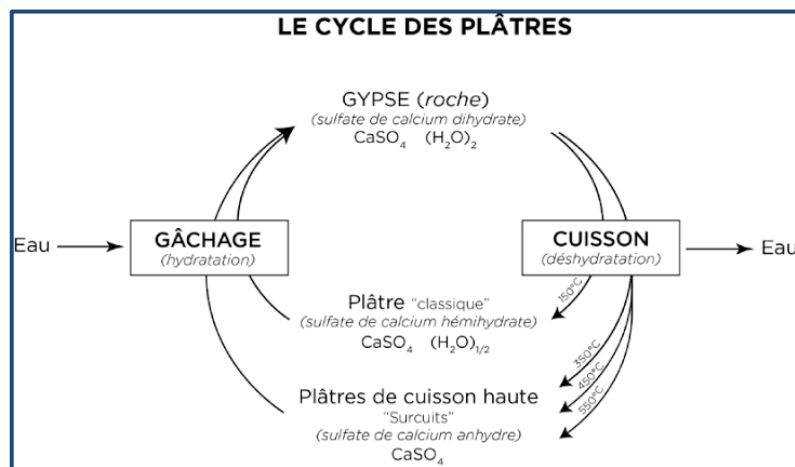


Fig I.1: Organigramme de cycle du plâtre[1]

#### 1.2.2. Différentes Origines de plâtre

Le plâtre peut être produit à partir de différentes sources de gypse, ce qui entraîne diverses origines du matériau. Voici quelques-unes des origines possibles du plâtre **Gypse naturel** : Le gypse naturel est extrait de gisements minéraux présents dans le sol. Ces gisements peuvent être trouvés dans diverses régions du monde, et la qualité du gypse peut varier en fonction de la composition chimique et des conditions géologiques locales.



*a. Gypse lamellaire*



*b. gypse saccharoïde*



*c. Rose de sable*

***Fig1.2: Différents systèmes de cristallisation de gypse.***

De là on constate que le gypse utilisé dans la fabrication du gypse est généralement une roche cristalline à grains fins. Elle est rarement pure et est mélangée à des impuretés en nombre et en proportions variables d'une carrière à l'autre : argile, calcaire, silice, dolomitie, anhydrite et autres.

### A - Anhydrite

L'anhydrite soluble, encore nommé anhydrite III ou anhydrite  $\alpha$ , est un corps chimique minéral dont la formule brute se note par convention  $\text{Ca}_2\text{SO}_4 \cdot \varepsilon \text{H}_2\text{O}$  [1]. Hygroscopique et soluble dans l'eau, il se transforme facilement en plâtre qui est essentiellement un héli hydrate de sulfate de calcium, soit lentement à l'air humide soit instantanément dans l'eau. Il s'agit du produit de la déshydratation du gypse à température modérée, autour de  $200^\circ\text{C}$ . Poreux, hygroscopique, et même conservant par sa structure lacunaire des traces d'eau, l'anhydrite est souvent un corps minéral artificiel, massivement produit dans l'industrie du plâtre.

### B – Gypse

Le gypse est une espèce minérale composée de sulfate de calcium déshydraté, de formule chimique  $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ . Le même mot, gypse, désigne aussi une roche évaporite majeure, constituée principalement du minéral gypse[3]. On extrait le gypse de carrières, appelées plâtrières, ou improprement gypse rès. La classification de la pierre de gypse dépend de sa composition minérale (teneur en gypse  $T_g$ ) et chimique (teneur en eau de cristallisation  $T_c$ ) [3]

| Classe | Composition minéralogique<br>$T_g \text{ CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \%$ | Composition chimique<br>$T_c$ en eau de cristallisation % |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| I      | $T_g \geq 90$                                                                  | $T_c \geq 18.83$                                          |
| II     | $80 \leq T_g \leq 90$                                                          | $16.74 \leq T_c \leq 18.33$                               |
| III    | $70 \leq T_g \leq 80$                                                          | $14.65 \leq T_c \leq 16.74$                               |
| IV     | $50 \leq T_g \leq 70$                                                          | $11.51 \leq T_c \leq 14.65$                               |

*Tableau 1.1: Classification de la pierre à plâtre [3].*

#### 1.2.2.2 Origine synthétique

L'origine synthétique du plâtre fait référence au processus de fabrication du gypse à partir de sources autres que les gisements naturels. Le gypse synthétique est souvent produit à partir de sous-produits industriels ou de résidus, plutôt que d'être extrait de gisements minéraux.

Une méthode courante de production de gypse synthétique implique l'utilisation de désulfuration des gaz de combustion provenant des centrales électriques au charbon. Dans ce processus, le dioxyde de soufre est capturé des gaz d'échappement des centrales électriques et réagit avec le calcaire pour former du gypse. Ce gypse synthétique est ensuite purifié et transformé en plâtre.

L'utilisation de sources synthétiques de gypse pour la fabrication de plâtre présente plusieurs avantages, notamment la réduction des déchets industriels et la diversification des approvisionnements en matières premières. Cependant, le processus de production de gypse synthétique peut également poser des défis environnementaux, tels que la gestion des sous-produits et des déchets. [2]

### 1.2.3. Principe de Fabrication

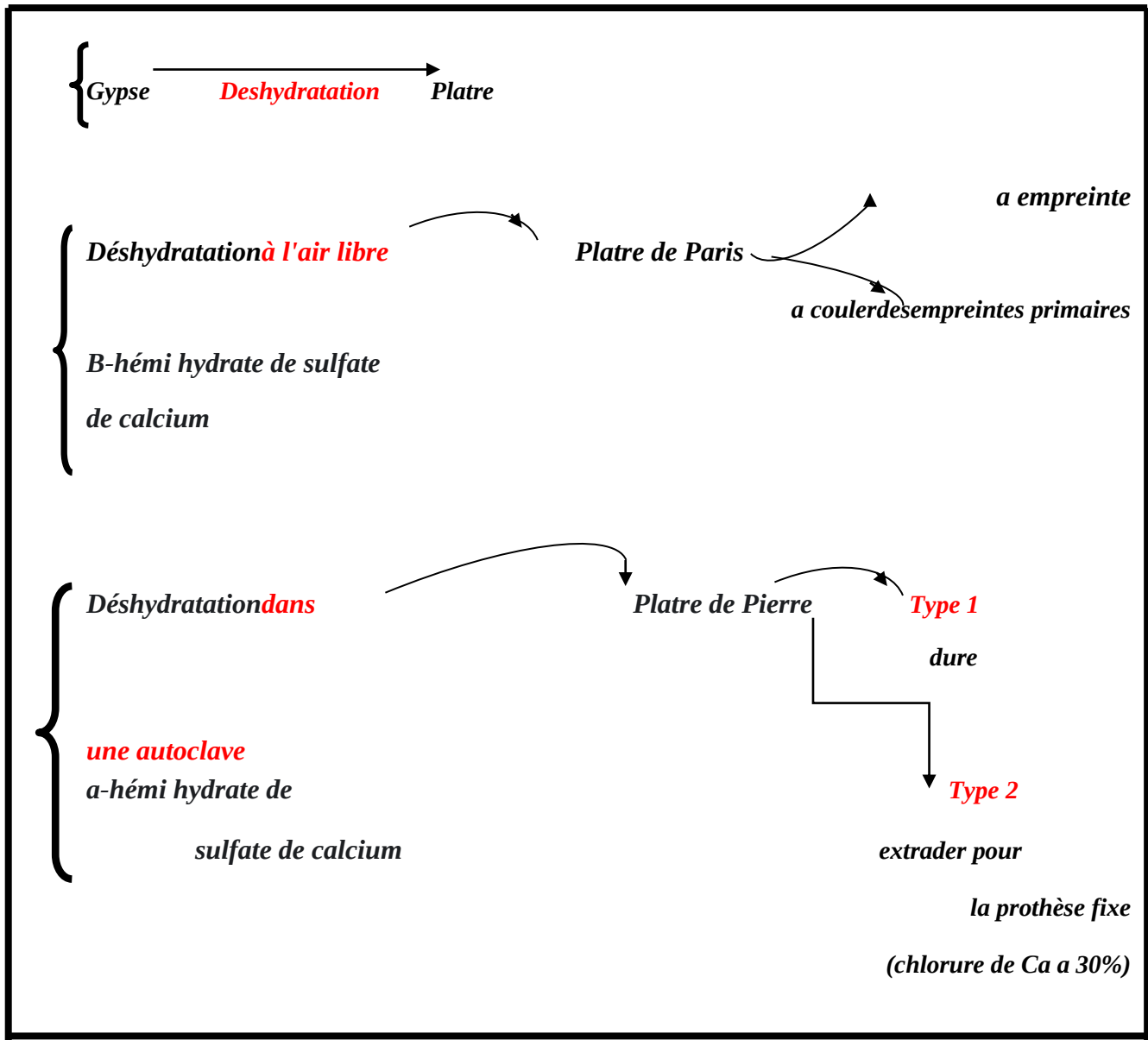


Le principe de fabrication du plâtre repose sur la transformation du gypse, sous forme de sulfate de calcium déshydraté ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), en plâtre cuit, également appelé plâtre  $\alpha$ , sous forme de sulfate de calcium semi-hydraté ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ ). Voici les étapes principales du processus de fabrication du plâtre :

- **Extraction et broyage** : Le gypse est extrait de gisements naturels ou synthétiques, puis broyé en une poudre fine pour augmenter sa surface spécifique.
- **Calcination** : La poudre de gypse est introduite dans un four rotatif, où elle est chauffée à une température d'environ **150 à 165°C**. Cette chaleur provoque la déshydratation partielle du gypse, transformant le sulfate de calcium déshydraté en héli hydrate (plâtre cuit).
- **Refroidissement et broyage** : Après la calcination, le plâtre cuit est refroidi, puis broyé à nouveau en une poudre fine. Ce processus de broyage permet d'obtenir une distribution granulométrique uniforme et une texture appropriée pour la formation de la pâte de plâtre.
- **Formation de la pâte** : La poudre de plâtre est mélangée à de l'eau pour former une pâte malléable. Lorsque l'eau est ajoutée au plâtre cuit, elle réagit chimiquement avec le sulfate de calcium semi-hydraté pour former du sulfate de calcium déshydraté, ce qui entraîne le durcissement de la pâte.
- **Durcissement** : La pâte de plâtre est appliquée sur la surface à enduire ou versée dans des moules, où elle durcit rapidement en quelques minutes à quelques heures, en fonction des conditions environnementales telles que la température et l'humidité.
- **Une fois durci** : le plâtre conserve sa forme et sa solidité, offrant une surface lisse et plane pour diverses applications dans la construction et l'industrie.

## Chapitre I : Recherches bibliographiques

La figure I.3 représenté le principe der fabrication du platre :



**Fig1.3: Principe de fabrication du plâtre[5]**

### 1.2.3.1 .L'extraction

L'extraction du gypse se fait dans des carrières à ciel ouvert ou en galeries souterraines. Concassé, cuit dans des fours, il est enfin broyé finement pour obtenir le plâtre en poudre. Cette poudre blanche a la propriété de durcir très rapidement lorsqu'on la mélange à l'eau : c'est le phénomène de la prise.

## *Chapitre I : Recherches bibliographiques*

---

### 1.2.3.2. La réception du gypse et criblage

Le gypse est transporté à l'aide d'un tapis vers le criblage. Cette opération consiste à sélectionner que les grains de diamètre inférieur à **40 mm**. Le gypse ainsi sélectionné est stocké en tas dans un local couvert avant d'être homogénéisé, car le gypse extrait n'est pur qu'à **90%**. Aussi il sera mélangé à l'aide d'une machine composée de râteau qui va mélanger les couches de gypse.

### 1.2.3.3. La cuisson

Les modes de cuisson ne sont pas les mêmes, selon que l'on souhaite obtenir du plâtre Bêta ou du plâtre Alpha. On distingue :

- La cuisson du plâtre Bêta après un premier broyage, la poudre fine calibrée est cuite dans des fours qui opèrent une cuisson indirecte du gypse placé dans une virole en rotation au-dessus de brûleurs à fioul.
- La cuisson du plâtre Alpha on dépose les pierres de gypse, précédemment triées, dans des paniers que l'on descend ensuite dans des autoclaves (**sorte de "Cocotte-Minute"**). La cuisson s'effectue à une pression pouvant aller jusqu'à **10 bars**. Les caractéristiques du plâtre ainsi obtenu permettent un gâchage avec peu d'eau (**5 à 6 fois moins** qu'avec du plâtre Bêta) pour un matériau offrant alors des résistances mécaniques beaucoup plus élevées.

### 1.2.3.4. L'extraction

Après cuisson, les pierres sont concassées selon deux principes :

#### **a\_ Meulage standard :**

Le plâtre est transformé en particules de **200unités** grâce à un système de marteaux rotatifs à l'intérieur d'un tamis (garantissant une granulométrie maximale).

#### **b\_ Fraisage/sélection :**

Comme lors du fraisage standard, le plâtre est broyé par des marteaux rotatifs puis aspiré à travers le rotor. En fonction de leur poids (**et donc de leur taille**), les granules de plâtre, qui sont soumis à deux forces opposées (**centrifuge et aspiration**)

## Chapitre I : Recherches bibliographiques

### 1.2.3.5. Mélange et matériaux

L'enduit est ensuite mélangé dans un mélangeur avec divers additifs tels que des adjuvants pour améliorer certaines propriétés, et des inhibiteurs pour modifier les temps de prise.

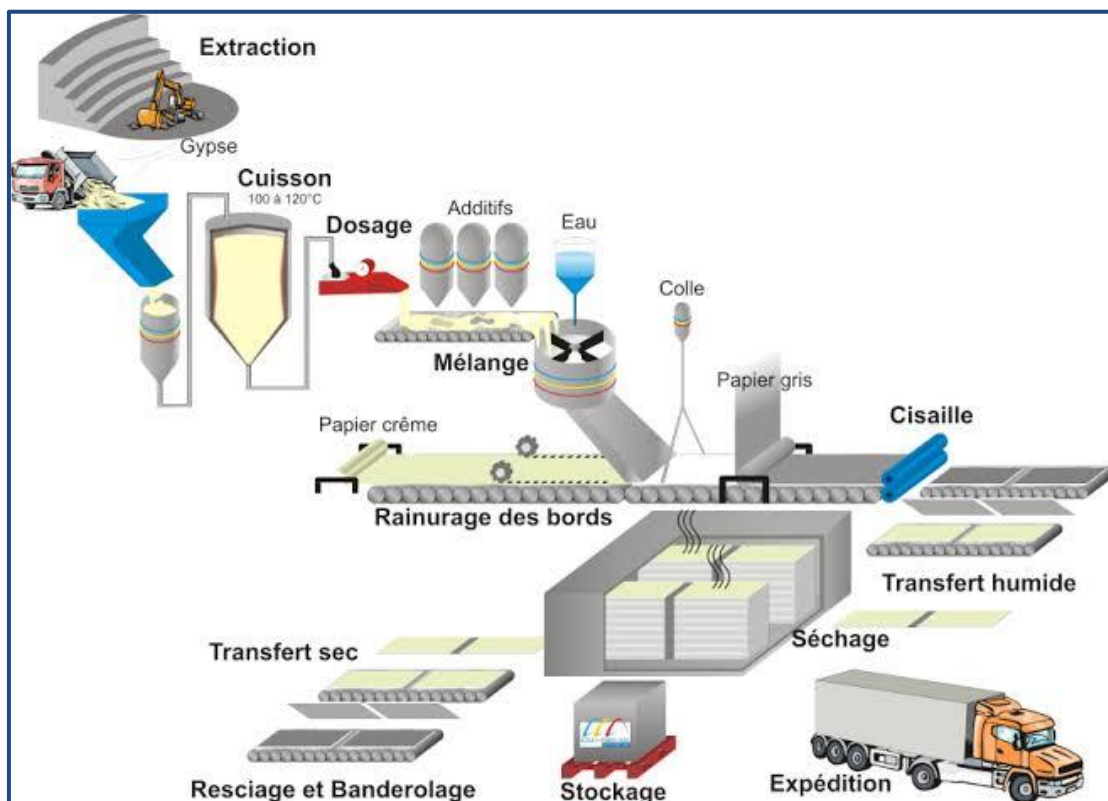
### 1.2.3.6. Suivi et validation des produits

A la source (à l'**extraction**), l'humidité et la pureté du gypse font l'objet de contrôles périodiques. Des échantillons sont ensuite prélevés tout au long du processus de fabrication et sont contrôlés par un laboratoire qualité usine entièrement dédié à ce travail. Ces contrôles permettent la vérification finale des produits finis ainsi que le contrôle des paramètres de fonctionnement des processus de cuisson, de broyage et de mélange, et garantissent également la qualité de la colle proposée à la vente.

### 1.2.3.7. Emballage et logistique

L'usine dispose de plusieurs silos répartis sur différentes stations de chargement en vrac qui permettent des services logistiques juste à temps. Envois en vrac et emballés.

La figure I.4 représenté le procédé de fabrication de plâtre :



*Fig1.4: Procédé de fabrication de plâtre [6]*

## ***Chapitre I : Recherches bibliographiques***

---

**1.2.4. Les différents types de plâtre** Les différents types de plâtre sont généralement classés en fonction de leur composition chimique, de leurs propriétés physiques et de leurs applications spécifiques. Voici quelques-uns des principaux types de plâtre :

### **1.2.4.1.Plâtre de construction :**

C'est le type de plâtre le plus courant, largement utilisé dans la construction pour le revêtement des murs et des plafonds, ainsi que pour la fabrication de moulages et de plaques de plâtre. Il est fabriqué à partir de gypse calciné et est caractérisé par sa rapidité de prise et sa facilité d'utilisation.

**1.2.4.1. Plâtre à mouler:** Ce type de plâtre est spécialement conçu pour la fabrication de moules et de moulages précis. Il est souvent formulé pour avoir une prise plus lente, ce qui permet de couler et de démouler des pièces complexes sans risque de fissuration.

**1.2.4.1.Plâtre dentaire :** Également connu sous le nom de plâtre orthodontique, ce type de plâtre est utilisé en dentisterie pour la fabrication d'empreintes dentaires, de modèles de travail et de dispositifs orthodontiques. Il est généralement plus finement broyé que le plâtre de construction pour obtenir des détails précis.

### **1.2.4.4 .Plâtre artistique :**

Ce type de plâtre est utilisé par les artistes pour la sculpture, la modélisation et d'autres projets artistiques. Il peut être formulé pour offrir différentes textures, densités et temps de travail en fonction des besoins de l'artiste.

### **1.2.4.5. Plâtre de moulage industriel :**

Utilisé dans l'industrie pour la fabrication de pièces moulées en série, ce type de plâtre est souvent renforcé avec des fibres ou des additifs pour améliorer sa résistance et sa durabilité. Ces types de plâtre présentent des variations dans leur composition et leurs caractéristiques, ce qui les rend adaptés à une gamme diversifiée d'applications dans la construction, l'artisanat, l'art et l'industrie.

## **1.2.5. Forme de plâtre et son utilisation**

Le plâtre est disponible sous différentes formes pour s'adapter à une variété d'applications dans la construction, l'art, l'artisanat et l'industrie.

Voici quelques-unes des formes courantes de plâtre et leurs utilisations associées :

## ***Chapitre I : Recherches bibliographiques***

**1.2.5.1 • Poudre de plâtre :** La forme la plus courante de plâtre, Elle est utilisée pour préparer des mélanges de plâtre en ajoutant de l'eau. La poudre de plâtre est souvent utilisée pour le revêtement des murs et des plafonds, la fabrication de moulages, de sculptures et d'autres projets artistiques.(voir la fig I.5)



***Fig1.5: Poudre de plâtre[4]***

**1.2.5.2 • Plaques de plâtre :** Également connues sous le nom de plaques de plâtre, les panneaux de plâtre sont fabriqués en comprimant de la poudre de plâtre entre deux feuilles de carton. Ils sont largement utilisés dans la construction pour créer des cloisons intérieures, des plafonds et des revêtements de murs. .(voir la fig I.6)



***Fig1.6: Plaques de plâtre[4]***

### **1.2.5.3 .•Moulages en plâtre :**

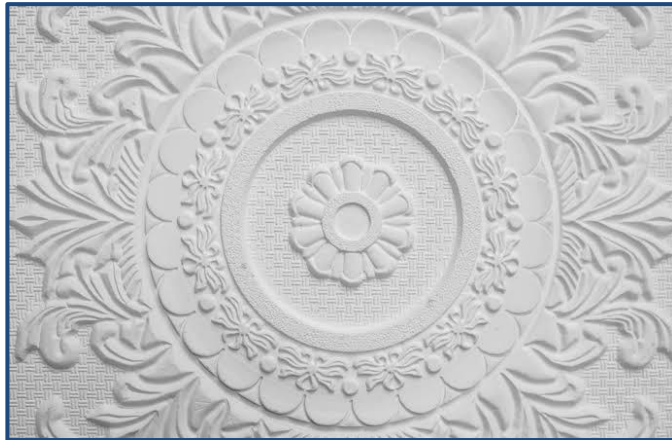
Les moulages en plâtre sont des objets sculptés ou moulés à partir de plâtre. Ils peuvent être utilisés à des fins décoratives, architecturales ou artistiques, tels que : - les corniches.

- les rosaces de plafond.

## ***Chapitre I : Recherches bibliographiques***

---

- les sculptures et les ornements.



***Fig1.7: Plafond en plâtre[4]***

### **1.2.5.4. •Bandes de plâtre :**

Ces bandes sont fabriquées à partir de gaze imprégnée de plâtre et sont utilisées pour renforcer les joints entre les plaques de plâtre,

ainsi que pour la réparation et le renforcement des surfaces endommagées. **.(voir la fig I.8)**

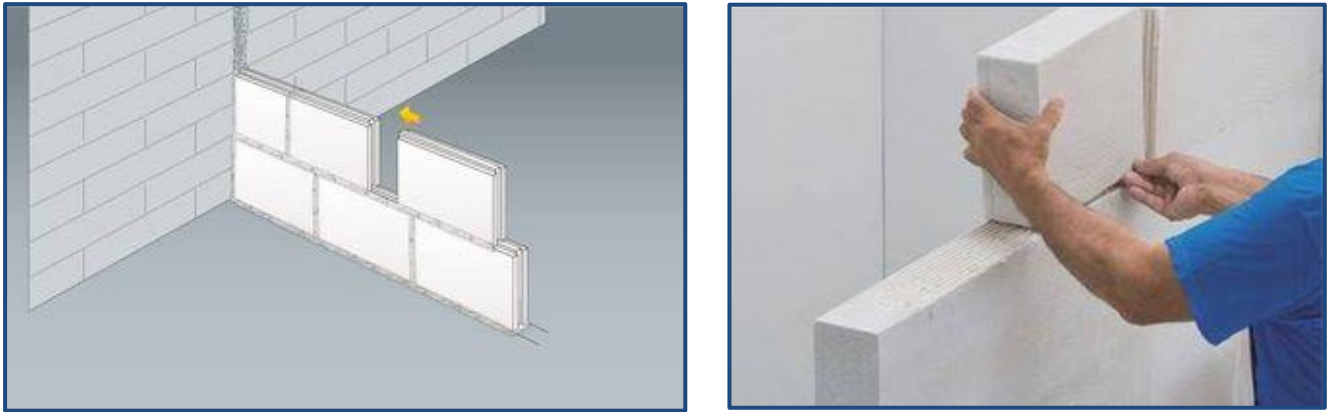


***Fig1.8:Bandes de plâtre[4]***

## ***Chapitre I : Recherches bibliographiques***

### **1.2.5.5 •Blocs de plâtre :**

Ces blocs sont fabriqués en coulant du plâtre dans des moules pour former des blocs solides. Ils sont utilisés dans la construction pour créer des murs, des cloisons et d'autres éléments structurels. **.(voir la fig I.5)**



***Fig1.9: Blocs de plâtre[4]***

**1.2.5.6 •Plâtre dentaire :** Utilisé en dentisterie pour prendre des empreintes dentaires et fabriquer des modèles de travail pour la fabrication de prothèses dentaires et d'autres dispositifs orthodontiques. **.(voir la fig I ;10)**



***Fig1.10:Exemple de plâtre dentaire***

Ces différentes formes de plâtre offrent une polyvalence et une adaptabilité qui les rendent utiles dans une large gamme d'applications allant de la construction à l'art en passant par l'industrie dentaire.

### 1.2.5.3.1. Les enduits pelliculaires

Les enduits pelliculaires de plâtre, également connus sous le nom d'enduits minces ou enduits de finition, sont des revêtements de plâtre appliqués en couches minces sur les surfaces intérieures des murs et des plafonds pour obtenir une finition lisse et uniforme. Ces enduits sont généralement utilisés pour masquer les imperfections de la surface et créer une base solide et esthétique pour la peinture ou d'autres finitions décoratives.

- Voici quelques caractéristiques et avantages des enduits pelliculaires de plâtre :

**a/ Épaisseur fine :** Les enduits pelliculaires sont appliqués en couches très minces, généralement de quelques millimètres d'épaisseur. Cela permet d'obtenir une surface lisse et plane sans ajouter de poids excessif aux murs ou aux plafonds.

**b/ Finition lisse :** Les enduits de plâtre pelliculaires offrent une finition très lisse et uniforme, idéale pour les surfaces intérieures où une apparence esthétique est souhaitée.

**c/ Masquage des imperfections :** Ils sont efficaces pour masquer les petites fissures, les bosses et autres imperfections de la surface, créant ainsi une base solide pour la peinture ou d'autres finitions décoratives.

**d/ Facilité d'application :** Les enduits pelliculaires de plâtre sont généralement faciles à appliquer à l'aide d'un couteau à enduire ou d'une truelle, ce qui en fait un choix populaire pour les projets de rénovation et de construction.

**e/ Adhérence efficace :** Ils adhèrent fermement aux surfaces préparées, telles que le plâtre, le béton, les panneaux de plâtre et les surfaces peintes, assurant ainsi une finition durable.

**f/ Séchage rapide :** Les enduits de plâtre pelliculaires ont souvent un temps de séchage relativement court, ce qui permet d'accélérer le processus de finition des murs et des plafonds.

**En résumé :** les enduits pelliculaires de plâtre sont des choix populaires pour obtenir des surfaces intérieures lisses et esthétiques, en masquant les imperfections et en fournissant une base solide pour d'autres finitions décoratives. [6]

## ***Chapitre I : Recherches bibliographiques***

**1.2.6- Recyclage du plâtre :** Le recyclage du plâtre peut être réalisé en broyant et en traitant les déchets de plâtre pour les réutiliser dans de nouveaux produits. Ce processus implique généralement le tri, le broyage et le tamisage du plâtre pour en retirer les impuretés et le transformer en un matériau réutilisable. Le plâtre recyclé peut être utilisé dans diverses applications telles que la fabrication de nouveaux panneaux de plâtre, d'agréats pour le béton ou même de produits artistiques et artisanaux.

Le processus de recyclage du plâtre commence par la collecte des déchets de plâtre, généralement issus de la construction ou de la démolition. Une fois collectés, ces déchets sont triés pour éliminer les contaminants tels que les débris de bois, de métal ou de plastique. Ensuite, le plâtre est broyé en fines particules et tamisé pour obtenir une granulométrie uniforme. Une fois broyé et tamisé,

le plâtre recyclé peut être utilisé de plusieurs façons :

**A) Fabrication de nouveaux panneaux de plâtre :** Le plâtre recyclé peut être mélangé avec du gypse frais pour produire de nouveaux panneaux de plâtre. **Agrégats pour le béton :** Le plâtre recyclé peut être utilisé comme agrégat dans la fabrication de béton, réduisant ainsi le besoin de ressources naturelles.

**B) Produits artisanaux :** Le plâtre recyclé peut être utilisé dans la fabrication de produits artisanaux tels que des sculptures, des moules ou des décorations. **Matériaux de construction :** Le plâtre recyclé peut également être utilisé comme matériau de remplissage ou d'isolation dans la construction. En recyclant le plâtre, on réduit la quantité de déchets envoyés en décharge, ce qui contribue à préserver l'environnement et à économiser des ressources naturelles. De plus, le recyclage du plâtre peut souvent être plus rentable que l'élimination traditionnelle des déchets de construction.



***Fig1.10: Déchet de plâtre récupéré [7]***

## Chapitre I : Recherches bibliographiques

- Les figure suivante représente les différentes étapes de recyclage du plâtre



*Fig1.11: Recyclage de plâtre[7]*

**1.2.7- La Valorisation du Plâtre :** La valorisation du plâtre consiste à utiliser les déchets de plâtre d'une manière qui ajoute de la valeur économique, environnementale ou sociale. Voici quelques façons de valoriser le plâtre :

**A) Recyclage :** Comme mentionné précédemment, le recyclage du plâtre implique de broyer et de traiter les déchets de plâtre pour les réutiliser dans de nouveaux produits tels que des panneaux de plâtre, des agrégats pour le béton, ou des produits artisanaux.

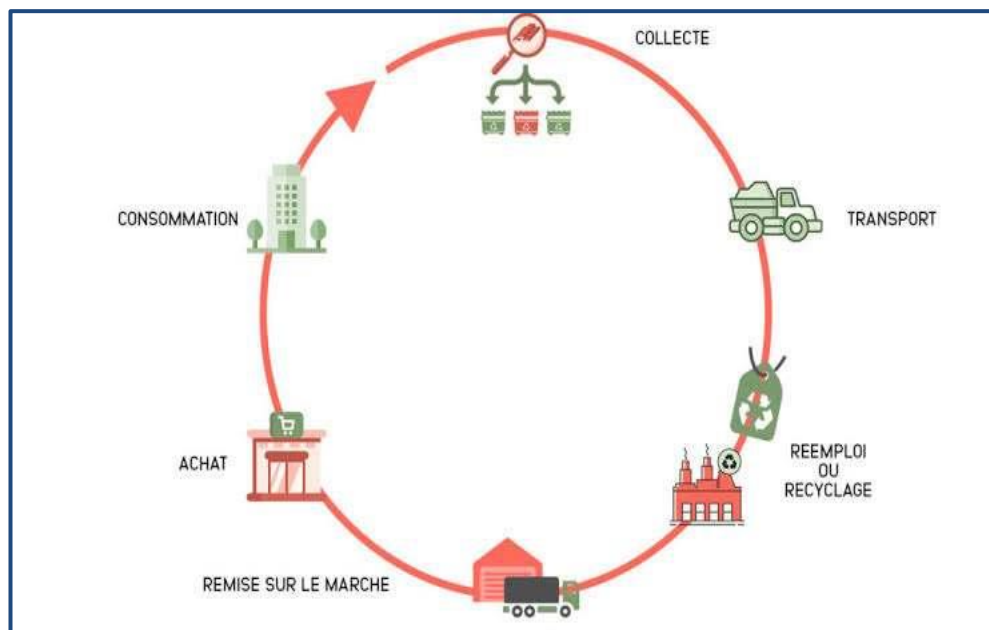
**B) Utilisation comme amendement du sol :** Le plâtre peut être utilisé comme amendement du sol pour améliorer sa structure et sa fertilité. Il peut aider à réduire la compaction du sol, à améliorer le drainage et à fournir des nutriments essentiels aux plantes.

## Chapitre I : Recherches bibliographiques

**C) Production de plâtre agricole :** Le plâtre peut être transformé en plâtre agricole, un produit utilisé pour améliorer la qualité des sols agricoles en fournissant du calcium et du soufre aux plantes.

**D) Valorisation énergétique :** Dans certaines installations, les déchets de plâtre peuvent être utilisés comme combustible dans les procédés de production d'énergie, tels que les chaudières à biomasse.

**E) Réutilisation dans la construction :** Les déchets de plâtre peuvent être réutilisés dans la construction pour des applications telles que le remplissage ou l'isolation, réduisant ainsi le besoin de matériaux vierges. En valorisant le plâtre de manière efficace, on réduit les déchets envoyés en décharge, on économise des ressources naturelles et on contribue à créer une économie circulaire plus durable. [8] .(voir la fig I.8)



*Fig1.11: Cycle de valorisation des déchets de plâtre[8]*

### 1.2.8-Domains d'utilisation de plâtre

Le plâtre est un matériau polyvalent largement utilisé dans de nombreux domaines. Voici quelques-uns des domaines d'utilisation principaux :

**1. Construction :** Le plâtre est utilisé pour fabriquer des panneaux de plâtre, des cloisons sèches, des enduits et des revêtements de surface dans les bâtiments. Il est également utilisé pour le moulage de corniches, de rosaces et d'autres éléments décoratifs.

**2. Médical :** Dans le domaine médical, le plâtre est utilisé pour fabriquer des plâtres orthopédiques afin d'immobiliser et de soutenir les fractures osseuses pendant la guérison.

## **Chapitre I : Recherches bibliographiques**

---

**3. Dentaire :** En dentisterie, le plâtre est utilisé pour fabriquer des moules dentaires, des modèles de prothèses dentaires et des empreintes dentaires.

**4. Artistique :** Les artistes utilisent souvent le plâtre pour créer des sculptures, des moules et d'autres œuvres d'art.

**5. Industrie :** Le plâtre est utilisé dans diverses industries pour la fabrication de moules, de modèles et de matrices.

**6. Agriculture :** Le plâtre agricole, qui est du plâtre broyé finement, est utilisé comme amendement du sol pour améliorer sa structure et sa fertilité.

**7. Loisirs créatifs :** Le plâtre est souvent utilisé dans les loisirs créatifs pour fabriquer des moules, des figurines et d'autres objets décoratifs.

**8. Restauration et conservation:** Dans le domaine de la restauration et de la conservation, le plâtre est utilisé pour la réparation et la restauration de sculptures, de moulures et d'autres objets historiques. Ces domaines ne représentent qu'une partie des utilisations du plâtre, mais ils illustrent sa grande polyvalence et sa présence dans de nombreux aspects de notre vie quotidienne. [9]

### **1.2.9. Utilisation de plâtre Domaine de construction et urbanisme** **Actuellement :**

Le plâtre a des utilisations assez diversifiées, soit directement en enduits, ou bien en éléments préfabriqués.

**1.2.9.1. Enduits :** Le plâtre mélangé à la chaux grasse (**10 à 15%**) et au sable donne un mortier très utilisé comme enduit extérieur et intérieur. On emploie le plâtre gros pour la première couche d'application sur les plafonds et les murs, pour les travaux de remplissage et pour les planchers. On utilise le plâtre fin pour la dernière couche de finition.

**1.2.9.2. Matériaux de construction préfabriqués :** Le plâtre sert à la fabrication de carreaux et plaques (sandwich de plâtre compris entre deux feuillets de carton), la réalisation des cloisons de distribution ou de séparation entre les logements, comme plafonds ou doublage des murs, outre cela le plâtre peut être armé de fibres pour constituer du plâtre armé. Le staff est du plâtre armé de filasse de chanvre, il est très utilisé dans la décoration intérieure grâce à sa capacité de se mouler sur toutes les formes et à se prêter à tout type de finition. C'est un matériau particulièrement adapté à une utilisation en intérieur, grâce à ses propriétés d'isolation thermique et acoustique et sa résistance au feu.

## ***Chapitre I : Recherches bibliographiques***

---

**1.2.9.3. Autres utilisations :** Le caractère neutre et inerte de gypse, sa faible abrasivité a être finement broyé, ainsi que sa blancheur qui peut être élevée, en font un bon produit de charge dans les secteurs Industriels suivant :

- Peintures et colles, pates à moduler. Papiers, tissus.
- Verrerie.
- Insecticides en poudre.
- Pharmacie, Prothèse dentaire, chirurgie.

L'anhydrite broyée peut également s'employer en charge, dans les peintures et papiers, les cartons bitumés et les bitumes pour revêtements routiers [9]

### **1.2.10-Eléments préfabriqués à base de plâtre :**

Les éléments préfabriqués à base de plâtre sont des composants fabriqués à l'avance dans des conditions contrôlées, puis transportés sur le chantier pour être installés. Voici quelques exemples d'éléments préfabriqués à base de plâtre :

**1. Panneaux et cloisons :** Des panneaux de plâtre préfabriqués sont largement utilisés dans la construction pour créer des cloisons intérieures et des murs. Ces panneaux peuvent être fabriqués avec différentes épaisseurs et dimensions pour répondre aux besoins spécifiques de chaque projet.

**2. Plafonds :** Les éléments préfabriqués à base de plâtre sont également utilisés pour la fabrication de plafonds suspendus. Ces panneaux de plâtre préfabriqués offrent une installation rapide et facile tout en assurant une finition lisse et uniforme.

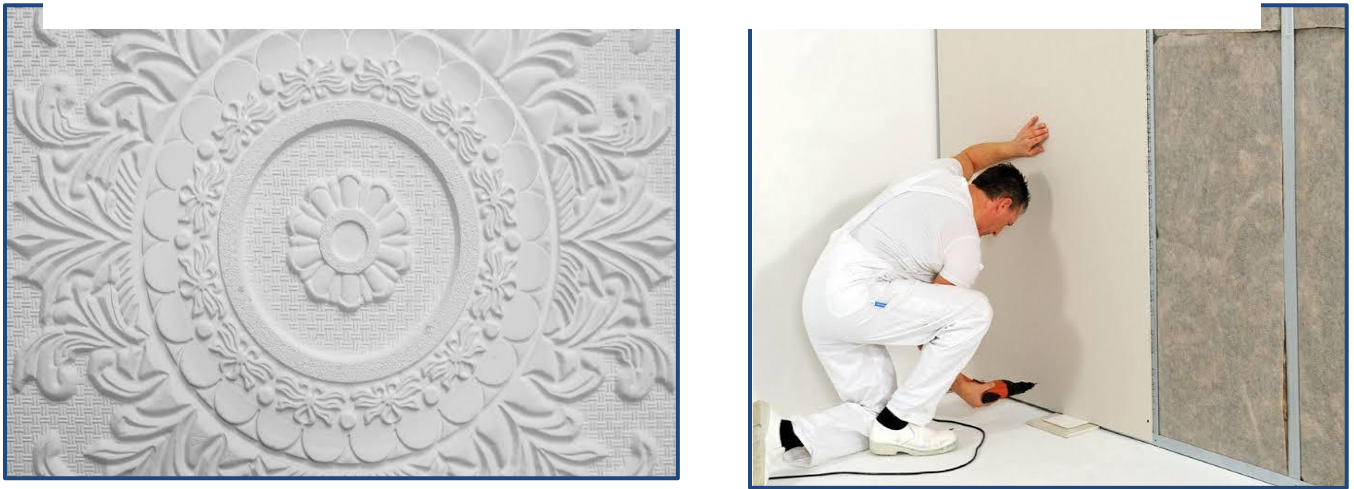
**3. Moulures et ornements :** Les moulures préfabriquées en plâtre sont utilisées pour ajouter une touche décorative aux intérieurs. Elles peuvent être fabriquées en différentes formes et tailles pour créer des corniches, des rosaces, des chambranles de portes et d'autres éléments architecturaux.

**4. Éléments de décoration :** Les éléments décoratifs préfabriqués en plâtre, tels que les colonnes, les pilastres et les cheminées, peuvent être utilisés pour ajouter du caractère et de l'élégance à un espace intérieur.

## ***Chapitre I : Recherches bibliographiques***

**5. Revêtements de sol :** Bien que moins courants, certains éléments préfabriqués en plâtre peuvent également être utilisés comme revêtements de sol dans des applications spécifiques, offrant une alternative durable et esthétique aux matériaux traditionnels. Ces éléments préfabriqués à base de plâtre offrent de nombreux avantages, notamment une installation rapide, une finition de haute qualité et une grande polyvalence dans la conception architecturale. [10]

le fig I.12 donne quelque utilisation du plâtre dans le domaine de construction



***Fig1.12: Panneaux et cloisons plâtre et Elément plafond[11]***

### **1.2.11- Caractéristiques du plâtre :**

Le plâtre est un matériau de construction largement utilisé pour ses caractéristiques uniques. Voici quelques-unes de ses principales caractéristiques :

- \* **Facilité de mise en œuvre :** Le plâtre est facile à manipuler et à appliquer, ce qui en fait un matériau de choix pour la construction et la rénovation. Il peut être coulé, modelé ou appliqué en couches fines pour créer une variété de formes et de textures.
- \* **Durcissement rapide :** Le plâtre durcit rapidement lorsqu'il est mélangé avec de l'eau, ce qui permet des temps de séchage relativement courts. Cela en fait un matériau idéal pour les travaux nécessitant une mise en œuvre rapide.
- \* **Adhérence :** Le plâtre adhère bien à une grande variété de surfaces, y compris le bois, le métal, le béton et le plâtre lui-même, ce qui le rend polyvalent pour une utilisation dans différents types de projets de construction.

## **Chapitre I : Recherches bibliographiques**

---

**\* Isolation thermique et acoustique :** Le plâtre offre une certaine capacité d'isolation thermique et acoustique, ce qui en fait un bon choix pour les applications intérieures où une certaine isolation est nécessaire.

**\*Résistance au feu :** Le plâtre est naturellement résistant au feu, ce qui en fait un matériau de construction sûr dans les applications où la protection contre les incendies est importante.

**\*Finition lisse :** Une fois durci, le plâtre offre une finition lisse et uniforme qui peut être facilement peinte, tapissée ou texturée pour obtenir l'aspect désiré.

**\* Écologique :** Le plâtre est un matériau écologique, fabriqué à partir de gypse naturellement abondant. De plus, il est recyclable, ce qui en fait un choix durable pour la construction. En raison de ces caractéristiques, le plâtre est largement utilisé dans la construction résidentielle, commerciale et industrielle pour une gamme d'applications, allant des cloisons intérieures aux ornements décoratifs.

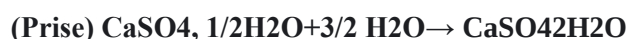
### **1.2.12. Propriétés physiques et mécaniques du plâtre**

**1.2.12.1- Prise Les produits :** résultant de la déshydratation thermique du gypse ont la propriété, lorsqu'ils se trouvent au contact avec l'eau, de retrouver leur degré d'hydratation initiale et de reconstituer du gypse. Ce phénomène s'appelle la prise du plâtre [12].

Son temps de prise est court avec un durcissement rapide accompagné d'une forte élévation de température. Plusieurs mécanismes ont été envisagés pour décrire ce processus qui se déroule en trois étapes successives:

- Reprise de l'eau pour reformer le déshydraté.
- Cristallisation (qui constitue la prise proprement dite).
- Durcissement.

La prise est la réaction inverse de la cuisson.



## **Chapitre I : Recherches bibliographiques**

---

### **1.2.12.1- Durcissement Le processus de durcissement comporte trois phases**

- Dissolution des produits du semi-hydrate de Ca .
- Hydratation du semi-hydrate aboutissant à la formation du double hydrate de Ca.
- La cristallisation d'hydrate

**1.2.12.2.- Facteurs influents sur la prise et le durcissement :** Les temps de prise et de durcissement varient évidemment avec la nature du plâtre (présence en plus du semi-hydraté d'incuits, de surcuits...), et avec sa finesse. Les autres paramètres importants sont les suivants:

- Quantité et nature de l'eau: plus la quantité d'eau est importante plus la prise est lente. Les impuretés contenues dans l'eau peuvent modifier beaucoup les temps de prise.
- Mode et durée de malaxage.
- Température: l'eau chaude agit comme retardateur de prise. **[13]**

### **1.2.13 - Adjuvants Les accélérateurs de prise :**

**a) Le sulfate hydraté ( $\text{CaSO}_4, \text{H}_2\text{O}$ ).**

**b) La pluparts des acides courants ( $\text{HCl}, \text{H}_2\text{SO}_4, \text{HNO}_3$ ).**

**c) Le sulfate d'alumine et de Potasse( $[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3], [\text{K}_2\text{SO}_4]$ .**

**d) Les Aluns / e) Le chlorure de Sodium ( $\text{NaCl}$ ).**

- Les retardateurs de prise: **a) Les phosphates.**

**b) Acides organiques, et leurs sels solubles (acide citrique et citrates).**

**c) La gélatine, la colle, la caséine.**

**d) Les Borax.**

**e) Les déchets résultants de la dégradation de protéines animales ou végétales.**

**f) La chaux.**

- Les adjuvants améliorent la résistance et augmente la durée de prise du plâtre comme la chaux éteinte avec un faible teneur de 6% à 10% **[13]**

### **1.2.14 -Les recommandations du C.N.E.R.L.B :**

- Les constructions en murs porteurs de « plâtre ne sont autorisés que pour les ouvrages simples à un ou deux niveaux, quel que soit leur usage.
- Le plâtre entrant dans la construction des blocs de mortier ou de béton de plâtre est un plâtre de construction.
- Elles s'appliquent pour les constructions en zones à sismicité faible ou nulle (zone 1 et 0 du RPA81).

Pour les zones 2 et 3, il y a lieu de compléter les présentes recommandations par les exigences du RPA81 [14]

### 1.3. Matériaux composites

#### 1.3.1. Définition

Les matériaux composites sont des matériaux fabriqués en combinant deux ou plusieurs composants distincts pour former une structure qui possède des propriétés améliorées par rapport à celles de ses composants individuels. (Voir la fig I .13)

Typiquement, un matériau composite est composé d'une matrice, qui agit comme une liaison entre les composants, et de renforts, qui fournissent les propriétés spécifiques souhaitées. Voici quelques éléments clés des matériaux composites :

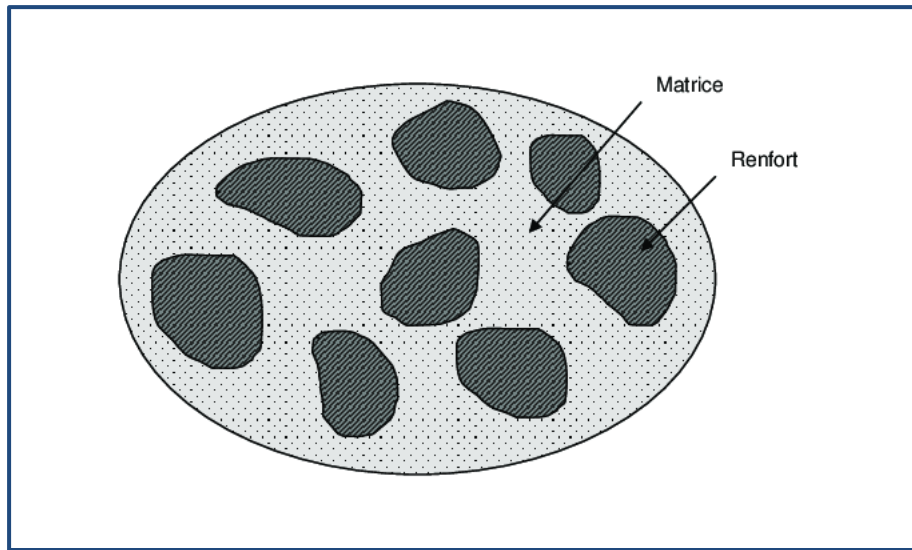
**Matrice :** La matrice est le composant principal d'un matériau composite, qui lie les renforts ensemble et transfère les charges entre eux. La matrice peut être un polymère (résine), un métal, ou même un matériau céramique. [16]

**Renforts :** Les renforts sont des matériaux ajoutés à la matrice pour améliorer les propriétés mécaniques du composite, telles que la résistance, la rigidité et la durabilité. Les renforts peuvent prendre la forme de fibres, de particules ou de tissus, et sont généralement fabriqués à partir de matériaux tels que la fibre de verre, la fibre de carbone, le kevlar, ou même des particules de céramique. [16]

**Interface :** L'interface entre la matrice et les renforts joue un rôle crucial dans les performances du matériau composite. Une bonne adhérence entre la matrice et les renforts est essentielle pour assurer une transmission efficace des charges et une résistance aux défaillances.

**Fabrication :** Les matériaux composites peuvent être fabriqués selon différentes méthodes, telles que le moulage par compression, le moulage par injection, ou encore le drapage de tissus. Chaque méthode de fabrication offre des avantages et des inconvénients en termes de coût, de complexité et de performances du produit final.

Les matériaux composites sont largement utilisés dans de nombreux domaines, notamment l'aérospatiale, l'automobile, la construction navale, le génie civil, le sport, et même la fabrication de produits de consommation, en raison de leur légèreté, leur résistance et leur durabilité. [15]



*Fig I.13: Matériau composite.[15]*

**1.3.2.1.1. Composites à fibres :** Les composites à fibres sont des matériaux composites dans lesquels les fibres jouent un rôle prédominant en tant que renforts. Ces fibres sont généralement imprégnées d'une matrice, qui peut être un polymère, un métal ou une céramique, pour former la structure composite. Voici quelques types de composites à fibres courants :

**a) Composites à fibres de verre :** Les fibres de verre sont largement utilisées comme renforts dans les composites en raison de leur faible coût, de leur légèreté et de leur résistance à la corrosion. Les composites à fibres de verre sont utilisés dans une variété d'applications, notamment les bateaux, les pièces automobiles, les équipements de sport et les éléments de construction.

**b) Composites à fibres de carbone :** Les fibres de carbone offrent une résistance et une rigidité exceptionnelles, ce qui en fait un choix populaire pour les applications nécessitant des performances élevées, telles que l'aérospatiale, l'automobile de haute performance, les équipements de sport (comme les raquettes de tennis et les bicyclettes), et même les applications militaires.

**c) Composites à fibres d'aramide (comme le Kevlar) :** Les fibres d'aramide offrent une résistance exceptionnelle à la traction, une rigidité et une résistance aux impacts. Les composites à fibres d'aramide sont utilisés dans des applications où la légèreté et la résistance aux impacts sont essentielles, telles que les gilets pare-balles, les équipements de protection et les applications aérospatiales.

## **Chapitre I : Recherches bibliographiques**

---

**d) Composites à fibres naturelles :** Les fibres naturelles telles que le bambou, le lin, le chanvre et le sisal sont également utilisées comme renforts dans certains composites. Ces composites sont appréciés pour leur faible coût, leur légèreté et leur caractère écologique, et sont utilisés dans des applications telles que l'ameublement, les emballages, et les produits de construction durables.

**e) Composites à fibres de basalte :** Les fibres de basalte offrent une combinaison unique de résistance, de rigidité et de résistance à la chaleur, ce qui les rend adaptées à des applications exigeantes telles que l'industrie aéronautique, l'automobile, et la construction. Ces composites à fibres offrent une large gamme de propriétés mécaniques, thermiques et chimiques, ce qui les rend adaptés à une variété d'applications dans diverses industries.

**1.3.2.1.2. Composites à particules :** Les composites à particules sont des matériaux composites dans lesquels des particules solides sont dispersées dans une matrice pour améliorer certaines propriétés du matériau final. Voici quelques types courants de composites à particules :

**Matrices polymères renforcées de particules :** Ces composites utilisent des polymères comme matrice, avec des particules solides comme renforts. Les particules peuvent être des charges minérales telles que le talc, le carbonate de calcium, ou des particules de verre. Ces composites sont utilisés pour améliorer la rigidité, la résistance à l'usure, la résistance aux chocs et d'autres propriétés des polymères.

**Matrices métalliques renforcées de particules :** Ces composites combinent des métaux comme matrice avec des particules solides comme renforts. Les particules peuvent être des oxydes métalliques, des carbures, des nitrures ou des borures. Ces composites offrent une résistance élevée, une résistance à la corrosion et des propriétés thermiques améliorées par rapport aux métaux non renforcés.

**Matrices céramiques renforcées de particules :** Ces composites utilisent des céramiques comme matrice, avec des particules solides comme renforts. Les particules peuvent être des céramiques différentes ou des matériaux céramiques non cristallins. Ces composites sont utilisés pour améliorer la résistance, la résistance à l'usure, la résistance aux chocs et d'autres propriétés des céramiques.

**Composites polymères à particules métalliques :** Ces composites utilisent des polymères comme matrice, avec des particules métalliques comme renforts. Les particules métalliques peuvent améliorer la conductivité électrique, la conductivité thermique, la résistance mécanique et d'autres propriétés des polymères.

## ***Chapitre I : Recherches bibliographiques***

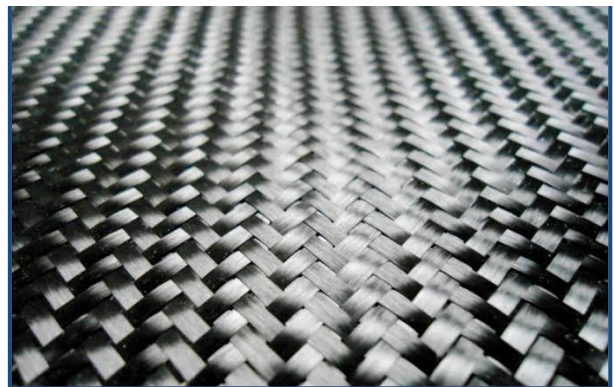
**Composites à base de ciment renforcés de particules :** Ces composites utilisent du ciment comme matrice, avec des particules solides comme renforts. Les particules peuvent être des fibres de verre, des fibres de polymère, des particules de caoutchouc ou d'autres matériaux. Ces composites sont utilisés pour améliorer la résistance à la fissuration, la durabilité et d'autres propriétés du ciment. Les composites à particules offrent une large gamme de propriétés mécaniques, thermiques, électriques et chimiques, en fonction des types de particules et de matrice utilisés. Ils sont largement utilisés dans de nombreuses industries pour une variété d'applications, notamment l'automobile, la construction, l'aérospatiale et l'électronique.

**1.3.2.2. Classification suivant la nature des constituants** : Selon la nature de la matrice, les matériaux composites sont classés suivant des composites à matrice organique, à matrice métallique ou à matrice minérale. Divers renforts sont associés à ces matrices. Seuls certains couples d'associations ont actuellement un usage industriel, d'autres faisant l'objet d'un développement dans les laboratoires de recherche. Parmi ces composites, nous pouvons citer

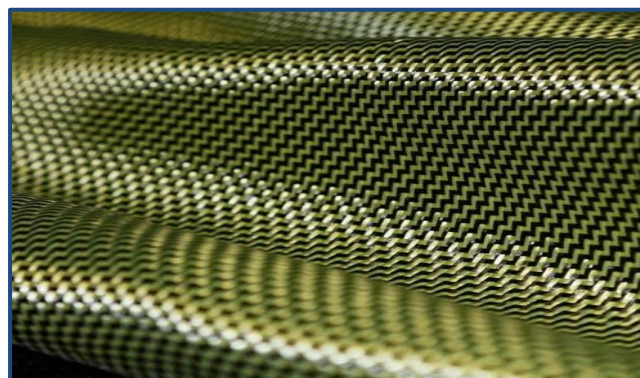
**1.3.2.2.1. Composites à matrice organique (résine, charges) avec:** Des fibres minérales verre, carbone, etc. . (Voir les figs )



***Fig1.14: Fibre de verre [15]***



***Fig1.15: Fibre de Carbone [15]***



***Fig1.16: Fibre de kevlar[15]***



***Fig1.17: Fibre de Polyamide[15]***



***Fig1.18: Le bore[15]***



***Fig1.19 : Fibre d'aluminium[15]***

## ***Chapitre I : Recherches bibliographiques***

**1.3.2.2.2. Composites à matrice métallique :** (alliages légers et ultralégers d'aluminium, de magnésium, de titane), avec: Fibres minérales carbone, carbure de silicium (SiC), Fibres métalliques: bore, Fibres métallo-minérales: fibres de bore revêtues de carbure de silicium (BorSiC).

**1.3.2.2.3. Composites à matrice minérale (céramique):** Fibres métalliques: bore, Particules métalliques cermets, Particules minérales: Carbures, nitrures, etc. . (Voir les figs )



***Fig1.20:Particules de Nitrures***

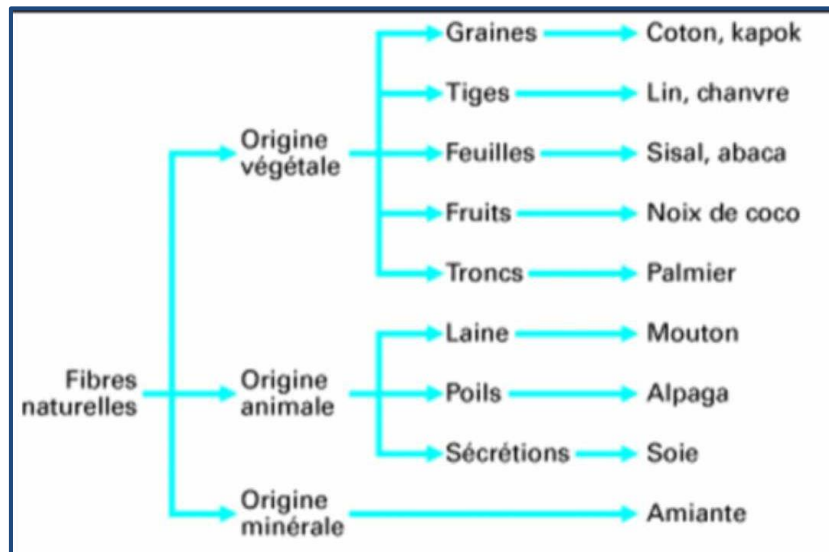


***Fig 1.21:Particules de carbures***

Les matériaux composites à matrice organique ne peuvent être utilisés que dans le domaine des températures ne dépassant pas **200 à 300°C**, alors que les matériaux composites à matrices métallique ou minérale sont utilisés au-delà: jusqu'à 600 °C pour une matrice métallique, jusqu'à **1000 °C** pour une matrice céramique.

**1.4. Les fibres végétales :**peuvent être classées selon l'organe dont elles sont issues, dans ce cas elles comprennent:

- Les fibres végétales: elles se subdivisent elles-mêmes selon leur provenance. On peut donc citer les fibres libériennes qui sont extraites de tiges de plantes (chanvre, lin, ramie, jute), les fibres dures qui sont extraites de feuilles, de troncs ou d'écorces de fruits (sisal, chanvre de manille, noix de coco), et les fibres qui proviennent des poils séminaux de graines (coton, kapok);
- Les fibres animales: elles peuvent émaner des poils (toison animale) ou encore des sécrétions. (soie);
- Les fibres minérales (amiante).



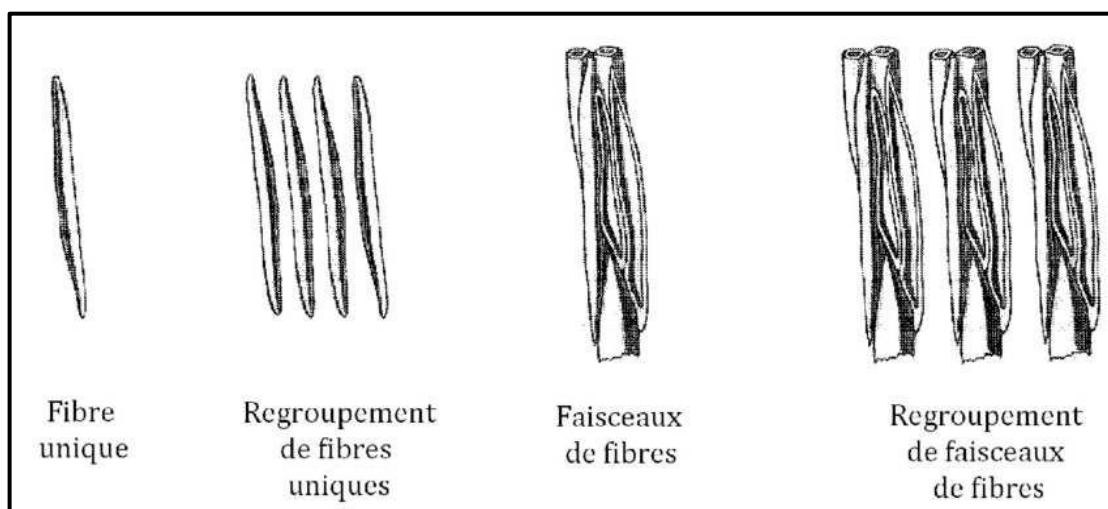
**Fig1.22:classification des fibres naturelles [18]**

L'utilisation des fibres naturelles et en particulier de fibres végétales comme renfort de matériaux composites, présente deux principaux avantages. Tout d'abord, ces fibres sont largement disponibles à faible coût et leur utilisation en construction constitue de nouveaux débouchés pour les matières agricoles. D'autre part, la valorisation des fibres végétales permet la réduction des impacts environnementaux par rapport aux composites conventionnels puisque ce sont des matières premières renouvelables, biodégradables, neutres vis-à-vis des émissions de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et demandant peu d'énergie pour être produites. Dans les pays peu industrialisés, les fibres végétales constituent donc une alternative à faible coût économique et surtout écologique aux fibres synthétiques conventionnelles (fibres métalliques, minérales ou polymériques).

**1.4.1. Définition** d'une fibre végétale Une fibre végétale est une fibre naturelle provenant des plantes. Ces fibres sont généralement extraites des tiges, des feuilles ou des fruits des plantes, et elles peuvent être utilisées dans diverses applications industrielles et artisanales. Les fibres végétales sont souvent utilisées dans la fabrication de textiles, de cordages, de papier, de matériaux de construction et d'autres produits.

Les exemples courants de fibres végétales comprennent le coton, le lin, le chanvre, le jute, le sisal, le coco, et le bambou. Ces fibres peuvent être soit des fibres courtes, comme le coton et le lin, soit des fibres longues, comme le jute et le sisal, et elles offrent une large gamme de propriétés telles que la résistance, la durabilité, la désirabilité et la biodégradabilité [18]

La fig I.23 :représente Classification des fibres naturelles d'origines végétale



**Fig 1.23: Classification des fibres naturelles d'origines végétale**[17]

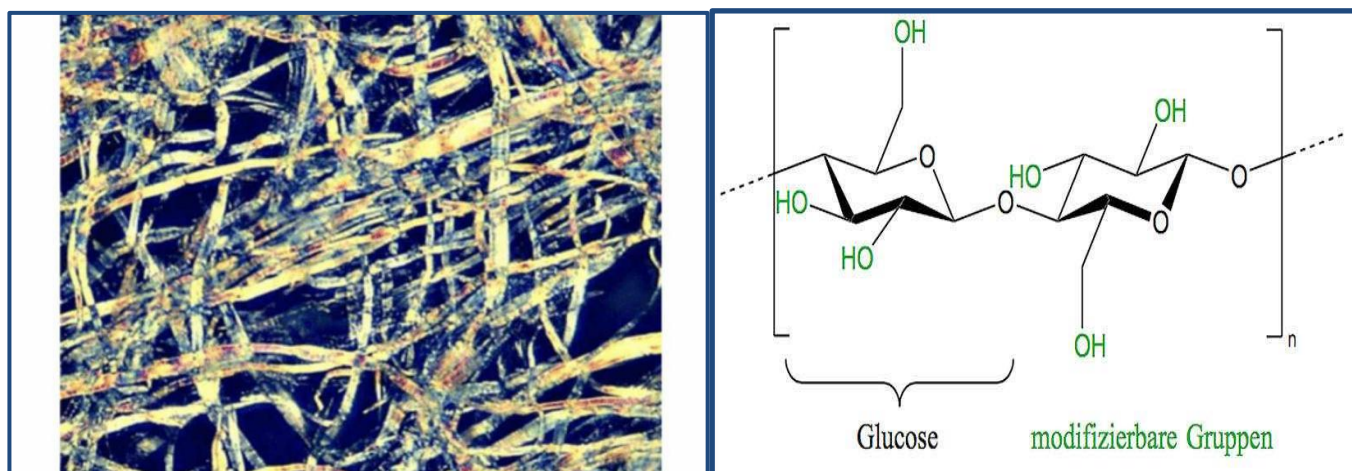
Les fibres végétales peuvent être classées suivant leur teneur en cellulose, en hémicellulose et en lignine. On distingue alors les fibres ligneuses (dures et rigides telles que celles provenant du Développement de bio-composites à base de fibres végétales et de colles écologiques bois) et les fibres non ligneuses (douces et souples dérivées de végétaux non ligneux souvent annuels tels que le jute et le sisal). Une troisième classification peut se faire suivant la longueur: Les fibres longues et douces (fibres libériennes) Les fibres longues, dures et rigides (provenant des feuilles et des troncs d'arbres)

Les fibres courtes, dites encore étoupes, elles sont associées aux fibres longues .

- Les fibres végétales peuvent être issues de différentes parties de la plante. Elles peuvent provenir des graines (poils séminaux), de la tige ou du tronc (fibres libériennes), des fruits (enveloppe), ou bien encore des feuilles. [18]

### **1.4.2. Composition chimique de la fibre naturelle la fibre végétale est compose de:**

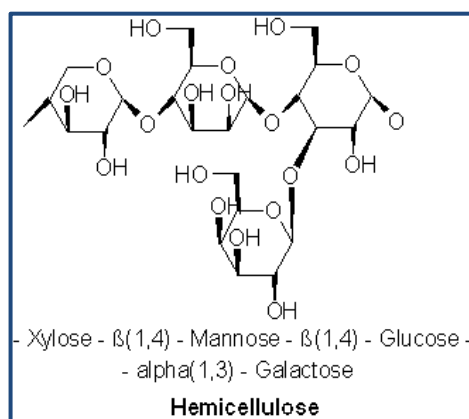
**1.4.2.1. cellulose:** est un glucide constitué d'une chaîne linéaire de molécules de glucose. Ce bio polymère est le principal constituant de la paroi des cellules végétales, La cellulose constitue **35 à 50%** de la biomasse végétale terrestre devant l'hémicellulose (**30 à 45%**) et la lignine (**15 à 25%**), formant ainsi la première famille de composés par ordre d'abondance dans les plantes et dans les écosystèmes terrestres où domine la biomasse végétale morte ou vive. Elle peut servir également d'isolant thermique et d'isolant phonique[19] (voir la fig II.24)



**Fig 1.24: Structure de la cellulose**[19]

**1.4.2.2.bémicellulose:** est un bio polymère de la famille des glucides, constitutif de la paroi cellulaire végétale. Elle a un rôle de pontage entre les fibres de cellulose, mais aussi avec d'autres composés matriciels. L'hémicellulose constitue **30 à 45%** de la biomasse végétale terrestre derrière la cellulose

**(35 à 50%)** mais devant la lignine **(15 à 25%)**, formant ainsi la deuxième famille de composés par ordre d'abondance dans les plantes et dans les écosystèmes terrestres où domine la biomasse végétale morte ou vive[20] (voir la fig II.25)

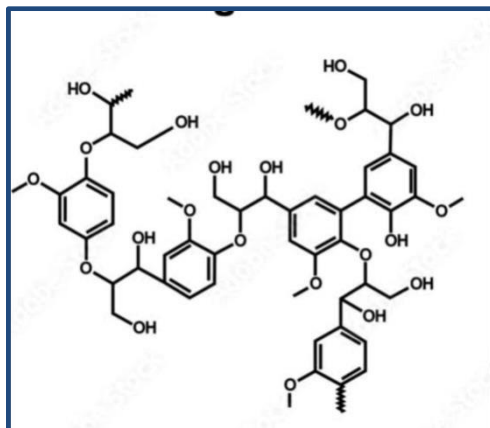


**Fig1.25: Structure de l'hémicellulose** [20]

**1.4.2.3. La lignine:** est une biomolécule, en fait une famille de macromolécules qui est un des principaux composants du bois avec la cellulose et l'hémicellulose. La lignine est présente principalement dans les plantes vasculaires et dans quelques algues. Ses principales fonctions sont d'apporter de la rigidité, une imperméabilité à l'eau et une grande résistance à la décomposition. Toutes les plantes vasculaires, ligneuses et herbacées, fabriquent de la lignine. Quantitativement, la teneur en lignine est de **3 à 5%** dans les feuilles, **5 à 20%** dans les tiges **15 à 35%** dans les tiges ligneuses. Elle

## Chapitre I : Recherches bibliographiques

est moindre pour les plantes annuelles que pour les vivaces. elle est maximum chez les arbres. Après la cellulose (constituant **35 à 50%** de la biomasse végétale terrestre) et l'hémicellulose (**30 à 45%**), la lignine (**15 à 25%**) forme la troisième famille de composés par ordre d'abondance dans les plantes et dans les écosystèmes terrestres où domine la biomasse végétale morte ou vive. L'abondance de ce bio polymère explique qu'il fasse l'objet de recherches en vue de valorisations autres que ses utilisations actuelles en bois. [20]



**Fig1.26: Structure de la lignine**

Tableau 1.2: donne les compositions chimiques des fibres végétales[

**Tableau 1.2: compositions chimiques des fibres végétales[18]**

| Les composants            |                 | Cellulose(%) | Hémicellulose(%) | Lignine(%) |
|---------------------------|-----------------|--------------|------------------|------------|
| Les Fibres                |                 |              |                  |            |
| Fibre issu de tige        | bambou          | 46-58        | 16-20            | 20-22      |
|                           | Kénaf           | 37-49        | 18-24            | 15-21      |
|                           | Jute            | 41-48        | 18-22            | 21-24      |
| Fibre issues de feuillage | abaca           | 56-63        | 15-17            | 7-9        |
|                           | Sisal           | 47-78        | 10-24            | 7-11       |
| Fibre issues de troncs    | Palmier dattier | 41-45        | 30-40            | 6-10       |
| Fibre issues d'écorce     | Lin             | 71           | 18.6-20.6        | 2.2        |
|                           | Chanvre         | 57-77        | 14-22.4          | 3.7-13     |
|                           | Ramie           | 68.6-91      | 5-16.7           | 0.6-0.7    |

**1.4.3. Morphologie de la fibre végétale Sur le plan morphologique :** la fibre végétale présente une variabilité très importante en fonction de son origine. En effet, les dimensions des fibres végétales dépendent de l'état de maturité et aussi des conditions environnementales de croissance de la plante. La variabilité du diamètre peut être très importante le long de la même fibre végétale. La fibre végétale se caractérise aussi par la variabilité de l'épaisseur de sa paroi cellulaire qui découle de celle de la porosité des fibrilles. [17] (voir le tableau I.3 )

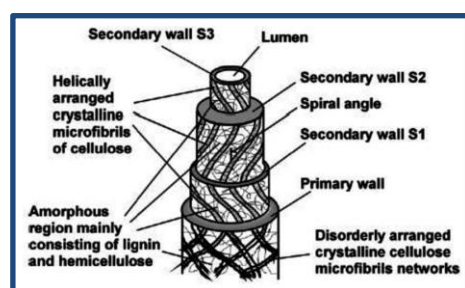
## Chapitre I : Recherches bibliographiques

| <i>Fibre</i>   | <i>Longueur de la fibre / mm</i> | <i>Diamètre de la fibre/</i> | <i>Angle micro fibrillaire C°</i> |
|----------------|----------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| <i>Cotton</i>  | <i>35</i>                        | <i>10-45</i>                 | <i>--</i>                         |
| <i>Lin</i>     | <i>4-47</i>                      | <i>5-76</i>                  | <i>10</i>                         |
| <i>Chanvre</i> | <i>5-55</i>                      | <i>10-51</i>                 | <i>6.2</i>                        |
| <i>Kénaï</i>   | <i>2.5-4.5</i>                   | <i>14-33</i>                 | <i>--</i>                         |
| <i>Jute</i>    | <i>2.5</i>                       | <i>5-25</i>                  | <i>8</i>                          |
| <i>Sisal</i>   | <i>900</i>                       | <i>8-50</i>                  | <i>20</i>                         |
| <i>Coire</i>   | <i>0.3-1</i>                     | <i>12-24</i>                 | <i>45</i>                         |

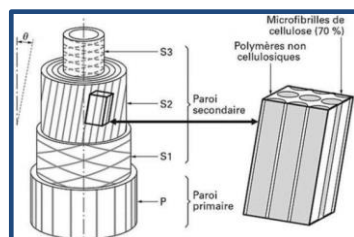
*Tableau 1.3: Propriétés morphologiques de quelques fibres végétales[16]*

• **La morphologie des fibres végétales :** peut constituer une donnée importante pour bien appréhender les transferts de contrainte aux interfaces fibre-matrice.

**1.4.4. Structure de la fibre végétale :** La fibre végétale est un composite en elle-même. Le renfort est constitué par les couches de microfibre cellulosiques en partie cristalline. Ce dernier est enrobé d'une matrice polysaccharidique amorphe (hémicellulose et pectine) qui est associée par liaison hydrogène et covalentes à la lignine[18] (voir la fig II.27)



*Fig1.27: Structure d'une fibre[18]*



*Fig1.28: Schéma de la microstructure d'une fibre végétale*

- Une fibre végétale est assimilable à un matériau multicouche composé de parois cylindriques concentriques. Elle est composée d'une paroi primaire et d'une paroi secondaire, elle-même constituée de trois couches: **S1, S2 et S3 (Fig1.27)**. La paroi primaire dont l'épaisseur varie entre **1 à 3µm** renferme de l'eau (**90%**), de la cellulose (**80 %**), d'hémicellulose, de lignine (**parfois**), d'extractibles ainsi que de substances pectiques. Les micros fibrilles cellulosiques enchevêtrées forment un réseau poreux. Cette paroi constitue une continuité à la lamelle moyenne et présente une grande élasticité: La paroi secondaire est rigide et inextensible à cause de l'absence de pectines et la présence d'une structure fibrillaire très compacte due au degré de cristallinité élevé de la Cellulose. Elle est riche en lignine, en cutine et en subérine, par contre, elle est peu hydratée (<**20%**). Cette paroi est formée de trois sous-couches qui sont : La couche **S1** est constituée de micro fibrilles croisées formant un angle compris Entre **60° et 80** par rapport à l'axe de la cellule. Son épaisseur est comprise entre **0,1 et 0,35 µm**. La couche S2 est la partie la plus volumineuse de la paroi. Le micro fibrilles se présentent en hélice en formant un angle de **5° à 50°** par rapport à l'axe de la cellule. Son Épaisseur varie entre **1 et 10µm**. Elle présente **15 à 85%** de l'épaisseur totale de la couche. La couche **S3** présente une épaisseur entre **0,5 et 1,1 µm**. Dans cette couche, les micros fibrilles sont orientées suivant un angle variant entre **60° et 90°** par rapport à l'axe de la cellule. [15]

### 1.4.5. Les fibres végétales du palmier dattier

Les fibres végétales du palmier dattier, également connues sous le nom de fibres de palmier, sont des fibres naturelles extraites des feuilles du palmier dattier . Ces fibres sont généralement obtenues à partir des feuilles sèches du palmier dattier, qui sont dépouillées de leur partie externe pour révéler les fibres internes. Les fibres de palmier sont longues, solides et flexibles, ce qui les rend idéales pour une variété d'applications artisanales et industrielles. Elles sont souvent utilisées dans la fabrication de cordages, de tapis, de nattes, de paniers, de chapeaux, de sacs et d'autres produits artisanaux. Les fibres de palmier sont également utilisées dans l'industrie de la construction pour renforcer les matériaux composites, comme les panneaux de fibres de bois, et pour fabriquer des matériaux d'isolation thermique et acoustique. Les fibres de palmier sont appréciées pour leur robustesse, leur durabilité et leur résistance aux intempéries, ce qui en fait un choix populaire dans les régions où les palmiers dattiers sont cultivés. De plus, l'utilisation des fibres de palmier dans diverses applications contribue à valoriser cette ressource naturelle et à promouvoir des pratiques durables de gestion des palmiers dattiers.



*Fig1.29: palmier dattier*

### 1.4.6. La plante de fibres végétales du palmier dattier

Le palmier dattier (*Phoenix dactylifera*) est une plante tropicale originaire des régions d'Afrique du Nord, du Moyen-Orient et d'Asie du Sud-Ouest. Bien que principalement cultivé pour ses fruits, les dattes, le palmier dattier possède également des feuilles qui peuvent être utilisées pour produire des fibres végétales. Les fibres végétales du palmier dattier sont obtenues à partir des feuilles du palmier, qui sont généralement traitées pour séparer les fibres des parties non utilisables de la feuille. Ces fibres sont ensuite utilisées dans diverses applications artisanales et industrielles, comme la fabrication de

- Le palmier dattier est une plante fascinante qui offre bien plus que ses fruits succulents. Voici quelques points supplémentaires sur cette plante :

#### **1-Valeur économique :**

Outre les dattes, le palmier dattier fournit une gamme de produits économiquement importants. En plus des fibres végétales, d'autres parties de la plante peuvent être utilisées pour produire de la nourriture pour le bétail, des matériaux de construction et des produits pharmaceutiques.

#### **2- Adaptation aux conditions arides :**

Le palmier dattier est bien adapté aux climats chauds et secs, ce qui en fait une culture importante dans les régions désertiques et semi-arides du monde. Il peut survivre avec peu d'eau et résister à des températures élevées, ce qui en fait une source de nourriture et de revenus vitale pour de nombreuses communautés dans ces régions.

## ***Chapitre I : Recherches bibliographiques***

---

### **3- Importance culturelle et religieuse :**

Le palmier dattier occupe une place importante dans de nombreuses cultures et religions. Il est souvent considéré comme un symbole de prospérité, de fertilité et de longévité. Dans certaines régions, les dattes sont traditionnellement offertes comme geste de bienvenue et d'hospitalité.

### **4- Écologie :**

Les palmiers dattiers fournissent également des avantages écologiques en stabilisant les sols, en fournissant de l'ombre et en abritant une diversité d'animaux sauvages. Leur culture peut également contribuer à la conservation des sols dans les zones sujettes à l'érosion. En somme, le palmier dattier est une plante polyvalente qui offre une multitude de bénéfices économiques, culturels, écologiques et sociaux pour les communautés qui en dépendent.

#### **1.4.7. Propriété de fibre végétale du palmier d'attier**

Les fibres de palmier dattier possèdent plusieurs propriétés qui les rendent attrayantes pour diverses applications artisanales et industrielles :

**a) Résistance :** Les fibres de palmier dattier sont connues pour leur robustesse et leur résistance, ce qui les rend idéales pour les applications nécessitant une grande solidité et durabilité.

**b) Flexibilité :** Malgré leur résistance, les fibres de palmier dattier conservent une certaine flexibilité, ce qui les rend faciles à tresser, à nouer ou à tisser dans des produits finis.

**c) Légèreté :** Les fibres de palmier dattier sont relativement légères, ce qui les rend faciles à manipuler et à transporter dans le cadre de la fabrication de produits artisanaux ou industriels.

**d) Résistance aux intempéries :** Les fibres de palmier dattier sont naturellement résistantes aux intempéries, ce qui les rend adaptées à une utilisation en extérieur dans des conditions climatiques difficiles.

**e) Biodégradabilité :** Les fibres de palmier dattier sont biodégradables, ce qui en fait un choix respectueux de l'environnement pour les produits qui finiront par être éliminés après leur durée de vie utile.

**f) Aspect esthétique :** Les fibres de palmier dattier ont souvent une belle apparence naturelle, ce qui peut ajouter une touche décorative à divers produits artisanaux et articles de décoration. En combinant ces propriétés, les fibres de palmier dattier sont utilisées dans une variété d'applications telles que la fabrication de cordages, de tapis, de nattes, de paniers, de chapeaux, de sacs et d'autres produits

## Chapitre I : Recherches bibliographiques

artisansaux, ainsi que dans l'industrie de la construction pour renforcer les matériaux composites et pour fabriquer des matériaux d'isolation thermique et acoustique.

• **Diamètre** : En général, le diamètre des fibres de palmier dattier peut varier de quelques micromètres à plusieurs dizaines de micromètres

• **Résistance a la traction** : Des études ont montré que la résistance à la traction des fibres de palmier dattier peut varier dans une plage allant généralement de **200 à 400 MPa (méga pascals)**, en fonction des conditions de production et des caractéristiques spécifiques des fibres. Cependant, il est important de noter que ces valeurs peuvent varier considérablement en fonction de divers facteurs.

• **Module d'élasticité**: Le module d'élasticité des fibres végétales du palmier dattier peut varier en fonction de divers facteurs, tels que l'âge de la feuille, les conditions de croissance de la plante et les techniques de traitement des fibres. Cependant, en général, les fibres végétales du palmier dattier ont un module d'élasticité relativement faible par rapport à d'autres matériaux tels que les fibres de carbone ou de verre.

• **couleurs** : beige au brun clair

• **Masse volumique**: La masse volumique de la fibre végétale du palmier dattier varie selon différents facteurs, tels que le type de fibre, la partie de la plante et la méthode de mesure. En général, la masse volumique peut se situer entre **0,3 et 0,6** gramme par centimètre cube (**g/cm<sup>3</sup>**).

**1.4.8. Extraction de les fibres végétales du palmier dattier** L'extraction des fibres végétales du palmier dattier implique plusieurs étapes :

**1. Récolte des palmes** : Les palmes sont récoltées lorsque la plante atteint un stade de maturité approprié pour la production de fibres.

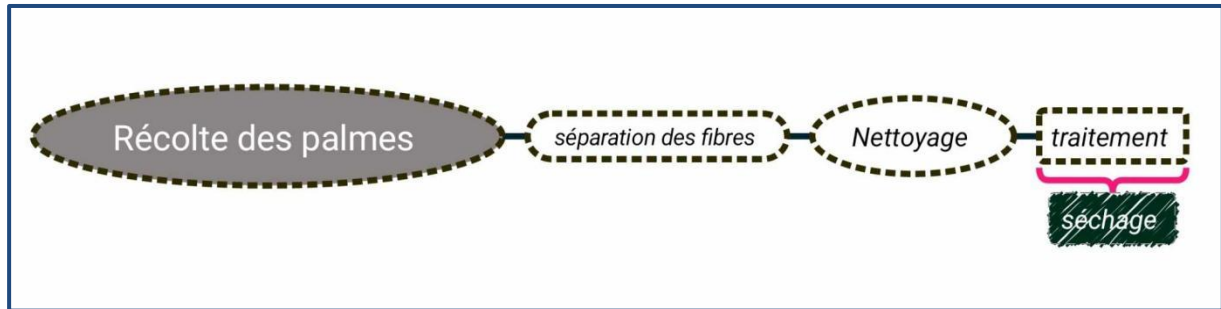
**2. Séparation des fibres** : Les fibres sont séparées des autres parties de la plante, comme la pulpe, en utilisant des méthodes mécaniques ou manuelles.

**3. Nettoyage** : Les fibres sont ensuite nettoyées pour éliminer toute impureté, comme la poussière ou les résidus de feuilles.

**4. Traitement** : Les fibres peuvent être traitées chimiquement pour les rendre plus souples ou pour éliminer certaines substances indésirables.

**5. Séchage** : Les fibres sont séchées pour réduire leur teneur en humidité et les rendre prêtes à être utilisées dans diverses applications.

Ces étapes peuvent varier en fonction de la méthode d'extraction et de traitement spécifique utilisée par les fabricants ou les producteurs de fibres de palmier dattier. (voir la fig II.24)



*Figure 1.30: Extraction de les fibres végétales du palmier dattier*

### 1.4.9. Avantages de la plante pour l'environnement

Les fibres végétales du palmier dattier offrent plusieurs avantages pour l'environnement, notamment :

- **Renouvelable** : Les palmiers dattiers sont des plantes à croissance rapide et peuvent être régénérés rapidement, ce qui les rend renouvelables.
- **Biodégradabilité** : Les fibres végétales du palmier dattier sont généralement biodégradables, ce qui signifie qu'elles se décomposent naturellement sans laisser de résidus nocifs dans l'environnement.
- **Réduction des déchets** : L'utilisation des fibres végétales du palmier dattier dans divers produits permet de réduire la quantité de déchets, car elles peuvent remplacer des matériaux non biodégradables comme le plastique.
- **Faible empreinte carbone** : La culture des palmiers dattiers pour leurs fibres végétales nécessite souvent moins d'intrants chimiques et d'eau par rapport à d'autres cultures intensives, ce qui peut contribuer à réduire l'empreinte carbone globale.
- **Utilisations multiples** : Les fibres végétales du palmier dattier peuvent être utilisées dans une variété de produits, tels que les textiles, les paniers, les meubles et même dans la construction écologique, ce qui permet une utilisation polyvalente et durable des ressources végétales.

### 1.5. Béton ou mortier fibré

#### 1.5.1.Définition

Le béton ou mortier fibré est un matériau de construction dans lequel des fibres synthétiques ou naturelles sont incorporées pour renforcer et améliorer les propriétés du béton ou du mortier traditionnel. Ces fibres peuvent être faites de différents matériaux tels que le verre, le polypropylène, l'acier, les fibres de carbone, ou même des fibres végétales comme celles issues du palmier dattier. L'ajout de fibres permet généralement d'améliorer la résistance à la traction, la résistance aux chocs, la résistance à la fissuration et la durabilité du béton ou du mortier.

#### 1.5.2- Le rôle des fibres

Les fibres jouent plusieurs rôles importants lorsqu'elles sont ajoutées au béton ou au mortier :

**Renforcement :** Les fibres agissent comme des renforts dans la matrice de béton ou de mortier, augmentant ainsi la résistance à la traction et la résistance aux chocs.

**Contrôle de la fissuration :** Les fibres peuvent réduire la formation de fissures dans le béton ou le mortier en agissant comme des barrières contre la propagation des fissures. Elles peuvent également aider à limiter la largeur des fissures qui se forment.

**Amélioration de la durabilité :** En renforçant la structure du béton ou du mortier, les fibres peuvent contribuer à améliorer sa durabilité et sa résistance aux conditions environnementales adverses telles que le gel-dégel, l'abrasion et la corrosion.

**Réduction du retrait :** Les fibres peuvent aider à réduire le retrait du béton ou du mortier pendant le durcissement, ce qui contribue à minimiser les déformations et les fissures potentielles.

**Amélioration des propriétés de travail :** Certaines fibres, comme les fibres synthétiques, peuvent faciliter le processus de coulée et de mise en forme du béton ou du mortier en améliorant sa cohésion et sa maniabilité.

**En résumé :** l'ajout de fibres au béton ou au mortier permet d'améliorer considérablement leurs performances mécaniques et leur durabilité, ce qui en fait des matériaux de construction plus fiables et résistants.

### 1.5.3. Propriétés des bétons fibrés

**1.5.3.1. Influence des fibres sur la rhéologie :** L'ajout de fibres au béton ou au mortier peut avoir une influence significative sur leur rhéologie, c'est-à-dire sur leur comportement en termes de viscosité, d'écoulement et de mise en œuvre. Voici quelques-unes des influences principales des fibres sur la rhéologie :

**1/ Viscosité :** Les fibres ont tendance à augmenter la viscosité du mélange de béton ou de mortier, ce qui peut rendre le matériau plus épais et plus difficile à couler. Cela peut nécessiter des ajustements dans le mélange pour maintenir la viscosité désirée.

**2/ Écoulement :** Les fibres peuvent modifier le comportement d'écoulement du béton ou du mortier, en particulier à des concentrations élevées. Elles peuvent entraîner une diminution de la fluidité et de la capacité d'auto-nivellement du matériau.

**3/ Ségrégation :** À des concentrations élevées, les fibres peuvent causer une ségrégation, c'est-à-dire une séparation des composants du mélange, ce qui peut compromettre l'homogénéité et la qualité du matériau.

**4/ Plasticité :** Les fibres peuvent également influencer la plasticité du béton ou du mortier, affectant sa capacité à être façonné et manipulé. Des fibres bien choisies peuvent améliorer la plasticité et la cohésion du matériau.

**5/ Temps de prise :** Dans certains cas, les fibres peuvent influencer le temps de prise du béton ou du mortier en modifiant les réactions chimiques ou les processus de durcissement. Cela peut nécessiter des ajustements dans le processus de fabrication et de coulée.

**En résumé,** l'incorporation de fibres peut entraîner des modifications dans la rhéologie du béton ou du mortier, ce qui peut nécessiter une optimisation du mélange et des procédés de fabrication pour maintenir les performances souhaitées du matériau.

**1.5.3.2. Influence des fibres sur le comportement mécanique :** L'ajout de fibres au béton ou au mortier peut avoir un impact significatif sur leur comportement mécanique, en renforçant notamment leur résistance et leur ténacité.

Voici quelques-unes des influences principales des fibres sur le comportement mécanique :

**1. Résistance à la traction :** Les fibres renforcent le béton ou le mortier en agissant comme des armatures qui résistent à la traction. Elles répartissent les contraintes sur une plus grande surface, augmentant ainsi la résistance globale du matériau à la traction.

**2. Résistance à la flexion :** Les fibres peuvent améliorer la résistance à la flexion du béton ou du mortier en empêchant la propagation des fissures et en renforçant la zone autour des zones de charge concentrée.

**3. Résistance à la compression :** Bien que les fibres n'affectent généralement pas la résistance à la compression du béton dans des proportions significatives, elles peuvent contribuer à réduire la fragilité et à améliorer la ductilité du matériau.

**4. Résistance aux chocs :** Les fibres absorbent et dispersent l'énergie des impacts, ce qui rend le béton ou le mortier plus résistant aux chocs et aux charges dynamiques.

**5. Résistance à la fissuration :** Les fibres agissent comme des obstacles à la propagation des fissures, ce qui réduit la sensibilité du matériau à la fissuration et améliore sa durabilité à long terme.

**6. Ténacité :** L'ajout de fibres augmente la ténacité du béton ou du mortier en permettant une déformation plus importante avant la rupture, ce qui est particulièrement bénéfique dans les applications sujettes à des charges cycliques ou dynamiques.

**En résumé,** l'incorporation de fibres améliore généralement les propriétés mécaniques du béton ou du mortier, en augmentant leur résistance, leur ténacité et leur durabilité, ce qui les rend plus adaptés à un large éventail d'applications structurelles et fonctionnelles.

### 1.5.4. Caractéristiques des composites cimentaires incorporant des fibres végétales

Les composites cimentaires incorporant des fibres végétales présentent plusieurs caractéristiques intéressantes en termes de performances mécaniques, durabilité et durabilité environnementale. Voici quelques-unes des caractéristiques principales de ces composites :

- **Renforcement et résistance mécanique** : Les fibres végétales renforcent la matrice cimentaire, augmentant ainsi la résistance à la traction, à la flexion et à la compression du composite. Cela permet d'obtenir des matériaux plus résistants et plus robustes.
- **Légèreté** : Les fibres végétales sont généralement plus légères que les fibres synthétiques ou métalliques, ce qui permet de réduire la densité du composite tout en maintenant des performances mécaniques élevées. Cela peut être avantageux dans les applications nécessitant des matériaux légers.
- **Bonne adhérence** : Les fibres végétales ont souvent une bonne adhérence à la matrice cimentaire, ce qui favorise le transfert de contraintes entre les fibres et la matrice, améliorant ainsi la cohésion et la résistance du composite.
- **Amélioration de la ductilité et de la ténacité** : Les fibres végétales confèrent une certaine ductilité au composite, ce qui lui permet de mieux absorber les charges et de mieux résister aux chocs et aux contraintes dynamiques. Cela améliore la ténacité du matériau, réduisant ainsi le risque de rupture brutale.
- **Réduction de la fissuration** : Les fibres végétales agissent comme des barrières à la propagation des fissures, réduisant ainsi la sensibilité du composite à la fissuration et améliorant sa durabilité à long terme.
- **Durabilité environnementale** : L'utilisation de fibres végétales renouvelables dans les composites cimentaires contribue à réduire l'empreinte environnementale du matériau. De plus, la biodégradabilité des fibres végétales en fin de vie peut contribuer à réduire les déchets environnementaux.

**En résumé**, les composites cimentaires incorporant des fibres végétales offrent un compromis intéressant entre performances mécaniques élevées, durabilité environnementale et légèreté, les rendant adaptés à une variété d'applications de construction et d'ingénierie.

1.5.5.1. Maniabilité des composites à l'état frais La maniabilité des mortiers et bétons est l'une des principales propriétés à l'état frais. L'incorporation de fibres végétales non-traitées au béton conduit à une forte réduction de la maniabilité, due à l'absorption d'eau par les fibres. Cependant, le mélange doit être suffisamment maniable pour la mise en œuvre. Un mélange trop raide ou trop sec pourrait conduire à un produit final insuffisamment compacté, qui serait susceptible de contenir davantage de vides et/ou des nids d'abeille (réseau poreux).

### 1.5.5. Propriétés à l'état frais

A l'inverse, un mélange trop humide conduira à une diminution des résistances mécaniques. L'autre aspect important concernant la maniabilité est la formation de boulettes de fibres, c'est-à-dire l'agglomération des fibres entre elles durant le malaxage. Le degré d'agglomération dépend du type et de la longueur des fibres utilisées, la fraction volumique de fibres, et de la dimension maximale de l'agrégat présent dans le composite cimentaire. L'agglomération des fibres doit être évitée car il a un effet néfaste sur la résistance. Certaines dispositions peuvent être prises lors du mélangeage afin de minimiser l'effet d'agglomération. Normalement, l'addition progressive des fibres à la fin de l'opération de malaxage, une fois les autres ingrédients mélangés, permet de réduire cet effet d'agglomération. L'utilisation d'un plastifiant réducteur d'eau permet également d'augmenter sensiblement la maniabilité, sans nuire aux performances mécaniques du composite. De plus, la diminution du dosage en granulat permet aussi de limiter la formation de boulettes.

### 1.5.6. Propriétés à l'état durci

#### 1.5.6.1. Facteurs influents

Les propriétés des bétons renforcés par des fibres végétales. Comme les autres bétons fibrés, sont affectés par un nombre important de facteurs, Les principaux sont les suivants :

**Type de fibre:** lin, chanvre, palmier dattier, jute, coir, bambou, bagasse, miscanthus, etc.

**Morphologie de la fibre:** longueur, diamètre, section transversale.

**Configuration:** fibre unitaire, faisceaux, brins.

**Etat de surface:** lisse, rugueuse, présence d'un revêtement.

**Propriétés de la matrice:** type de ciment, type et granulométrie des granulats, adjuvants.

**Proportions des différents constituants:** rapport E/C, taux de fibres, proportion des granulats.

**Méthode de malaxage:** type de malaxeur, séquence d'ajout des constituants, méthode d'incorporation des fibres, vitesse et durée de malaxage.

**Méthode de mise en œuvre:** vibration standard, projection, extrusion.

**Conditions de cure:** air, humide.

### 1.5.7. Comportement mécanique d'un composite cimentaire bio fibré

#### 1.5.7.1. Comportement en flexion

Les études réalisées sur les matériaux composites incorporant des fibres végétales brutes mettent en évidence une modification du comportement mécanique du composite. Alors que la matrice cimentaire pure présente un comportement élastique linéaire fragile en flexion, les éprouvettes de composites biofibrés n'ont pas un comportement fragile et continuent à supporter une charge significative après la charge maximale. Sedan a comparé les propriétés mécaniques d'une pâte de ciment et d'une matrice cimentaire incorporant des fibres de chanvre (**16% en volume**). Pour cela, des essais de flexion trois points ont été réalisés sur ces deux matériaux après **28 jours** de cure.

1.5.7.2. Comportement en compression : La résistance en compression des composites n'est, en général, pas significativement affectée par l'incorporation de fibres végétales. D'après une étude de Mansur, la résistance en compression de composites incorporant des fibres de jute n'est pas sensible à l'ajout de ces fibres. La résistance en compression reste quasiment la même pour les différents taux de fibres et les différentes longueurs.

#### La résistance du béton armé

La résistance du béton armé de 2,65% en volume de fibres de palme d'une longueur de 20 mm 30 mm représente 90% de la résistance du béton non armé tandis que la résistance du béton armé de 3% en volume de fibres de palme d'une longueur de 40 mm ne représente qu'environ 55 % de cette résistance. Du béton seul. L'auteur attribue cette diminution à l'augmentation du nombre de défauts et à la répartition irrégulière des fibres.

### 1.5.8. Durabilités des composites cimentaires a fibres végétales

Malgré les propriétés mécaniques intéressantes obtenues pour les composites cimentaires à renfort de fibres végétales, de nombreuses études soulignent les problèmes rencontrés concernant durabilité des fibres dans une matrice fortement Alcaline

### I.5.9. Composite à base de plâtre et des fibres

Les études [19] montrent que le volume de fibres et la longueur des fibres de sisal ont une influence remarquable sur les caractéristiques du plâtre renforcé. La résistance maximale à la flexion est d'environ 225 MPa correspondant à une longueur optimale de fibre 120 mm et une fraction volumique de fibre de 0,78.

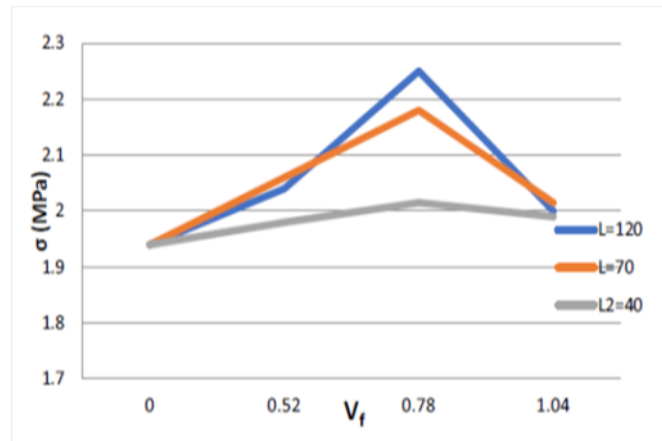


Figure 1: Résistance à la flexion d'un plâtre renforcé avec différentes fractions volumiques et longueurs de fibres de sisal [19]

Alejandro Martinez et al.[20] constatent que 1% de nanofibres de graphene donne une meilleure réponse mécanique, avec une résistance à la flexion et à la compression supérieure à celle du gypse pur de 30 % et 60 % respectivement.

Les travaux [21] montre que la porosité apparente, l'absorption d'eau et l'indice capillaire ont été fortement augmentés avec l'augmentation de la concentration en fibres de cellulose

Les résultats obtenus des recherches [22] montrent que l'incorporation de fibres de Washingtonian filifira WF dans la matrice du plâtre améliore les performances mécaniques de ce nouveau biocomposite et sa ductilité.

### **Conclusion**

La recherche bibliographique sur le plâtre a montré que:

- ~ Il y'a plusieurs gisements de gypse, matière première pour produire le plâtre, son utilisation est limitée aux enduits intérieurs, aux carreaux de plâtre et quelque éléments décoratifs.
- ~ Les qualités naturelles du plâtre sont des facteurs de confort, de santé et de sécurité pour nos espaces de vie. Ses multiples avantages l'ont érigé en tant que matériau naturel incontournable en construction comme en rénovation.
- ~ Les matériaux composites se classifient selon la forme et selon la nature, leur rôle de ce dernier diminue la propagation des fissures.
- ~ Le mortier de fibre végétale à une résistance à la flexion élevé par rapport au mortier seul.
- ~ En fin, pour améliorer les propriétés des plâtres on va ajouter quelques matériaux tels que le sable de dune, les fibres végétales de palmier dattier, la chaux pour l'introduire d'une façon rationnelle dans le domaine de bâtiments.

***Chapitre II :***  
***Caractérisation des matériaux utilisés et***  
***méthodes expérimentales***

---

**Chapitre II : Caractérisations des matériaux utilisés et méthodes expérimentales**

**II.1. Introduction**

Nous abordons dans ce chapitre l'étude des caractéristiques des différents matériaux utilisés pour la réalisation de ce travail. Nous avons utilisé des matériaux localement produits tels que: plâtre, sable, chaux et fibres du palmier dattier . Ces essais de Caractérisation ont été effectués au sein de **laboratoire** de Génie Civil, Université •Ammar Thelidji- Laghouat. •

**II.2.Matériaux utilisés**

**II.2.1. Plâtre** Le plâtre utilisé provenant de l'usine **S.P.A** Oasis Plâtre-Bou Saada M'sila , ce plâtre est commercialisé dans des sacs de **40 Kg** et disponible au marché. La figure ci-dessous représente le sac du plâtre utilisé dans ce travail expérimental.



**FigII.1: Plâtre utilisé**

**II.2.1.1. Analyse chimique du plâtre** La Composition chimique du plâtre utilisé a été effectuée au sein de l'usine de sa fabrication. Le tableau suivant résume les constituants du plâtre utilisé et leur teneur. [14]

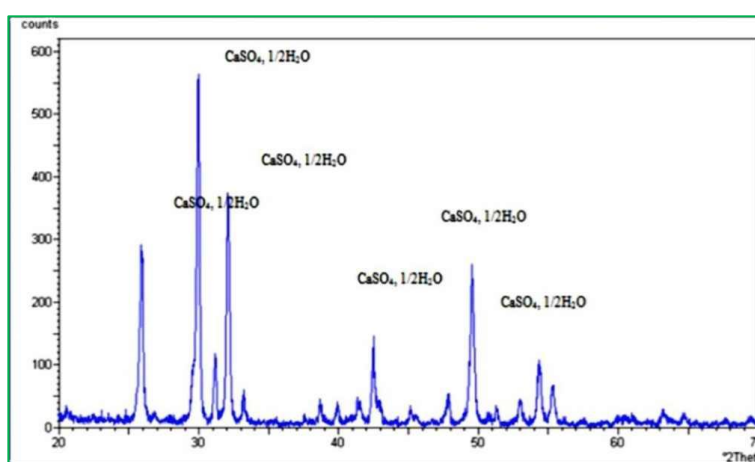
**Tableau II.1 : Analyse chimique du plâtre [14]**

| Constituants |                  |                                |                                |       |      |                 |                   |      |       |
|--------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-----------------|-------------------|------|-------|
| Du plâtre    | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO  | So <sub>2</sub> | Na <sub>2</sub> O | KO   | cl    |
| teneur.      | 0.70             | 0.10                           | 0.80                           | 32.05 | 0.53 | 44.95           | 0.09              | 0.03 | 0.002 |

## ***Chapitre II :Caractérisation des matériaux utilisés et méthodes expérimentales***

### **II.2.1.2. Analyse minéralogique par diffraction par rayon x**

La diffractométrie des rayons X est une technique de plus en plus utilisée pour l'étude de la composition minéralogique des matériaux. Cette technique est disponible au niveau de l'université de Laghouat. Cet essai concerne les matériaux cristallisés. Il est réalisé à l'aide d'un diffractomètre de rayons X. Celui-ci est équipé d'un tube à anode de cuivre de rayonnement  $2. \text{ka}1 = 1.54056 \text{\AA}$  et un compteur proportionnel. D'après le diffractogramme de la FigII.2, on remarque que le constituant essentiel du plâtre est le hémi-hydrate  $\text{CaSO}_4.1/2 \text{H}_2\text{O}$ .



***Fig II.2: Diffracto gramme du plâtre utilisé.***

### **II.2.1.3. Masse volumique absolue (NFP 18-555)**

#### **II.2.1.3.1. Le principe de mesure :**

Le principe de mesure, Il consiste à mesurer le déplacement du niveau de liquide contenu dans un densimètre de Chatelier, lorsqu'on introduit la poudre dont on cherche sa masse volumique absolue.

#### **1.2.1.3.2. Équipements nécessaires**

Pour effectuer cette essai on a besoin de:

Un densimètre de Chatelier d'une contenance minimale de  $50 \text{ cm}^3$  . (FigII.2)

- Un thermomètre, précis à  $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ , permettant de connaître la température du laboratoire.
- Une balance, la précision de la balance devra être adaptée à la masse de l'échantillon utilisé.

## ***Chapitre II :Caractérisation des matériaux utilisés et méthodes expérimentales***

- Papiers filtres.
- Plâtre de construction , Un liquide qui ne doit pas être réactif avec le plâtre comme l'éthanol.



***Fig II.3:Equipement nécessaire pour l'essai de la masse volumique absolue.***

### **II.2.1.3.3. Mode opératoire**

- Tamiser 75 g de matériau.
- Sécher l'échantillon jusqu'à l'obtention d'une masse constante et on le laisse refroidir.
- Peser le densimètre rempli d'éthanol jusqu'à repère inférieur soit  $M_{dem}$ .
- Verser l'échantillon dans le densimètre jusqu'à ce que le niveau du liquide atteigne le repère supérieur; voir figure II.3.
- Peser le densimètre soit  $M_{dem}$

La masse volumique absolue est donnée par la formule suivante :

$$\rho_{abs} = \frac{M_{dem} - M_{de}}{V_2 - V_1} \dots\dots\dots(II-1)$$

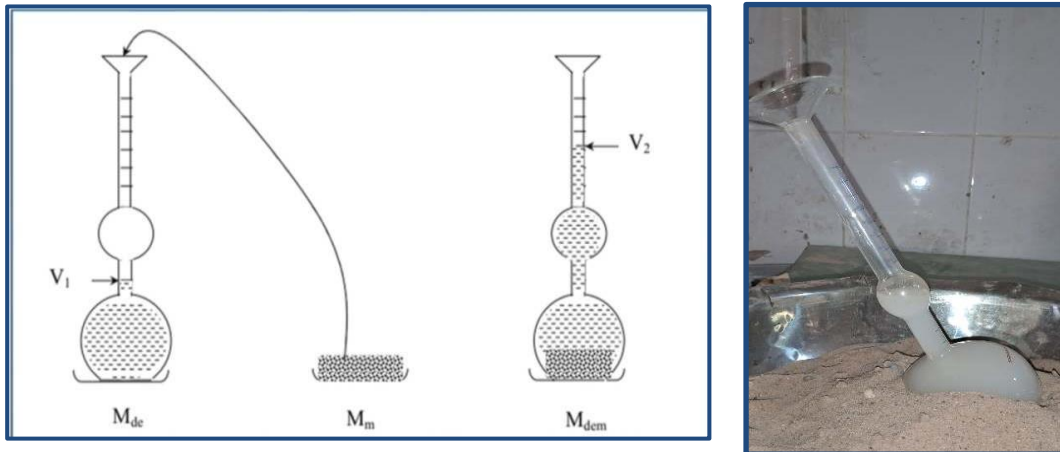
**$M_{dem}$** : Masse de densimètre rempli d'eau et de matériau (g);

## ***Chapitre II :Caractérisation des matériaux utilisés et méthodes expérimentales***

**mde:** Masse de densimètre rempli d'eau en (g);

**V1:** Volume initial d'éthanol.

**V2:** Volume final de liquide après l'introduction du plâtre.



***FigII.4: Protocole de l'essai.***

✓La masse volumique absolue obtenue du plâtre est de **2465.81kg/m<sup>3</sup>**.

### **II.2.1.4. Masse volumique apparente (NFP 18-555)**

**II.2.1.4.1. Le principe de mesure :** C'est le rapport entre la masse d'échantillon (**M**) sec et le volume total apparent (**Vtt**).

#### **1.2.1.4.2. Equipements nécessaires**

- Une balance avec une précision de **0.1g**.
- Récipient standard de volume connu de 1 litre (Fig II.5)
- Trépieds.
- Règle métallique.



***FigII.5: Dispositif pour l'essai de la masse volumique apparente***

### II.2.1.4.3- Mode opératoire

- On pèse le récipient vide et on note sa masse '**M<sub>0</sub>**'.
- On place le récipient sous le trepied et on commence à introduire le plâtre jusqu'à ce que le récipient soit plein.
- On arase sans tasser, à l'aide d'une règle métallique.
- On mesure le récipient plein et on note sa masse '**M<sub>1</sub>**'.

La masse volumique apparente est donnée par la formule suivante:

$$\rho_{abs} = (M_1 - M_0) / V \dots\dots\dots (II-2)$$

**M<sub>1</sub>**: Masse totale.

**M<sub>0</sub>**: Masse de récipient standard.

**V**: Volume apparent.

✓ La masse volumique apparente obtenue du plâtre est de **902 kg/m<sup>3</sup>**.

### II.2.1.5. Compacité et Porosité (NFP 18-555)

La compacité est définie par le rapport du volume (solide) de matière pleine au volume total. Alors que la porosité (**P**) est par définition le complément à l'unité de la compacité. La compacité et la porosité sont souvent exprimées en %. La somme des deux est alors égale à 1. L'essai est réalisé selon la norme **NFP18-555**. Si l'on connaît la masse volumique apparente et absolue du matériau, il est aisé alors de calculer sa compacité et sa porosité selon la formule suivante:

#### a) La compacité

$$C = \frac{\gamma_{app}}{\gamma_{abs}} \rightarrow 35\%$$

 .....(II-3)

**La compacité du plâtre obtenue est de 35%**

## ***Chapitre II :Caractérisations des matériaux utilisés et méthodes expérimentales***

### **b) La porosité**

$$\epsilon = 1 - C \rightarrow 65\%$$

.....(II-4)

*La porosité du plâtre obtenue est de 65*

### **II.2.1.6- Détermination de temps de début et fin de prise (NF B 12-401)**

**11.2.1.6.1- Principe L'essai** consiste à suivre l'évolution de la consistance d'une pâte de consistance normalisée: l'appareil utilisé est l'appareil de Vicat équipé d'une aiguille de **1.13mm** de diamètre, sous l'effet d'une charge de **340g**, l'aiguille s'arrête à une distance 'd' du fond du moule telle que d=4mm 1mm

- **Début de prise:** C'est l'intervalle de temps qui s'écoule entre l'instant du gâchage et celui où l'aiguille ne pénètre plus jusqu'au fond du moule.
- **Fin de prise:** C'est l'intervalle de temps qui sépare l'instant du gâchage et celui où l'aiguille ne pénètre pas dans la pâte.

### **II.2.1.6.2- Equipements nécessaires**

- Appareil de Vicat (voir la figure II.6 ).
- Balance.
- Tasse en porcelaine.
- Couteau métallique.
- Spatule métallique.
- Chronomètre.



***FigII.6: Appareil de Vicat***

## Chapitre II :Caractérisations des matériaux utilisés et méthodes expérimentales

### II.2.1.6.3- Mode opératoire:

- On graisse la surface intérieure du moule tronconique.
- On prépare dans la tasse en porcelaine la quantité d'eau correspondante à la consistance. normale de **340g** du plâtre.
- On verse **340g** de plâtre dans l'eau et on malaxe pendant **30 secondes**.
- On verse la pâte dans le moule tronconique et on arase sa surface par le couteau métallique. la durée de cette opération ne doit pas dépasser **30 sec**.
- On place le moule sur l'appareil de Vicat et on met l'aiguille en contact avec la surface de la pâte.
- On libère l'aiguille en laissant s'enfoncer par son propre poids dans la pâte et on remarque. la distance entre l'extrémité de l'aiguille et la surface de l'appareil de Vicat; on répète cette. opération toutes les **30 secondes** en changeant chaque fois le lieu de chute de l'aiguille.

**Tableau II.2 :Détermination de Début de fin de prise Pour Un plâtre de construction**

| <u>Essais</u>   | <u>Temps</u> | <u>Temps de Début</u><br><u>de prise</u> | <u>Temps de Fin</u><br><u>de prise</u> |
|-----------------|--------------|------------------------------------------|----------------------------------------|
| <u>Essai 01</u> |              | 5min 37s                                 | 9min 42s                               |
| <u>Essai 02</u> |              | 5min 52s                                 | 10min 18s                              |

✓ D'après ces essais pour la détermination de temps de début et de fin de prise pour **E/P= 0.6**, on a constaté que le plâtre utilisé possède un temps de prise égale à **4 min, 40sec** donc on a besoin d'un retardateur ou prise comme la chaux.

### **II.2.1.7.-Détermination de la résistance mécanique d'un matériau**

#### **1.2.1.7.1- Equipements et matériaux nécessaires**

➤ Appareils pour la détermination de la résistance à la flexion et à la résistance compression (presse mécanique).

➤ moules prismatiques de mortier **4x4x16 cm<sup>3</sup>**.

#### **1.2.1.7.2- Mode Opératoire**

Le malaxage s'effectue sans malaxeur de la façon suivante : On met l'eau de gâchage dans un récipient

Avec **E/P=0.60** et en saupoudrant avec le mélange on mélangeant manuellement et rapidement.

➤ On verse le mélange dans les moules prismatiques.

➤ On démoule les éprouvette réalisées après 24h En les conservent a l'air ambiants du laboratoire jusqu'à l'âge 28 jours.

➤ On place les échantillons dans le dispositif pour la détermination de la résistance à la rupture par flexion:

$$R_f = 3F_r L / 2b^3 \dots\dots\dots(11-5)$$

➤ On place les demi-éprouvettes sur le dispositif pour la détermination de la résistance à la rupture par compression.

$$R_c = F / S \dots\dots\dots(11-6)$$

**F** : Charge appliquée à la compression **N**

**S**: Section transversale **mm<sup>2</sup>**.

## Chapitre II :Caractérisations des matériaux utilisés et méthodes expérimentales

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau ci-dessous.

| Tableau II.3 Propriétés mécaniques du plâtre |                 |
|----------------------------------------------|-----------------|
| Propriétés Mécaniques                        | 28 jours (Mpa ) |
| Résistance à la compression                  | 10.3            |
| Résistance à la flexion                      | 3.8             |

### II.2.2 sable

Les sables alluvionnaires sont des dépôts de sable transportés et déposés par des cours d'eau, tels que des rivières ou des fleuves. Ils se forment dans des environnements fluviaux où les matériaux transportés par l'eau se déposent en raison de la diminution de la vitesse du courant, ce qui entraîne la sédimentation des particules plus lourdes, comme le sable, les graviers et parfois même des rochers.

#### II.2.2.1. Masse volumique apparente NEP 18-555

Elle est déterminée par la méthode du récipient standard de volume connu, il s'agit de remplir un volume de **1000 cm<sup>3</sup>** et peser la masse totale.

✓ La masse volumique apparente du sable de dune utilisé est **1633.96 kg/m<sup>3</sup>**.

#### II.2.2.2. Masse volumique apparente par la méthode d'éprouvette graduée ( NEP 18-555)

C'est le rapport entre la masse d'échantillon (M) et le volume absolu de l'ensemble des grains.

✓ La masse volumique absolue du sable de dune de construction est **2510.35 kg/m<sup>3</sup>**

#### II.2.2.3.Coefficient d'absorption Sable 1 kg, Eau 600 ml

• Deux canettes vides : N2 = 20.5g B1 = 20.5 g •Deux cartons pleins : N2 =126.5g B1 =110g



FigII.7:Essai du coefficient d'absorption

## **Chapitre II :Caractérisations des matériaux utilisés et méthodes expérimentales**

- **Après sèche :** N2 = 100 g      B1 =85g

Le coefficient d'absorption est défini comme le rapport de l'augmentation de la masse d'échantillon après immersion dans l'eau pendant **24h** à **20 C°**

$$Abs = \frac{Mh - Ms}{Ms} \times 100 \dots \dots \dots (II-8)$$

- **Ms:** Masse de l'échantillon sec après passage à l'étuve **105 C°**.
- **Mh:** Masse de l'échantillon imbibé (**surface essuyée**). ,

✓*Le coefficient d'absorption du sable alluvionnaire utilisé est de **1.62%**.*

### **II.2.2.4.Compacité et Porosité NFP 18-555**

#### **II.2.4.1. Compacité**

$$C = \frac{y_{app}}{y_{abs}} \rightarrow 65\% \dots \dots \dots (II-9)$$

*La compacité obtenue du sable est de 65%*

#### **II.2.4.2. La porosité**

$$P = 1 - C \rightarrow 35\% \dots \dots \dots (II-10)$$

*La Porosité obtenue du sable est de 35%*

#### **II.2.2.5. Équivalent de sable**

##### **II.2.2.5.1.Principe de l'essai:**

L'essai est effectué sur la fraction **0/2 mm** des matériaux à étudier. Le tamisage se fait par voie humide afin de ne pas perdre d'éléments fins, on lave l'échantillon selon un processus normalisé, et on le laisse reposer pendant **20 min**, on mesure:

- Hauteur h1:** sable propre éléments fins.
- Hauteur h2:** sable propre seulement vue à l'œil.
- Hauteur h'2:** sable propre seulement mesuré à l'aide du piston.

Deux valeurs sont déterminées **Es** visuel et **ESP** piston

## Chapitre II :Caractérisations des matériaux utilisés et méthodes expérimentales

L'équivalent de sable est donné par les relations suivantes:

$$E_{sv} = h_2 / h_1 \dots\dots\dots (II-11)$$

$$E_{sp} = h_2' / h_1 \dots\dots\dots (II-12)$$

Tableau II.4: Résultats obtenus de l'équivalent de sable

| Essais   | $E_{sv}$ | $E_{sp}$ | $E_q$ |
|----------|----------|----------|-------|
| Essais01 | 97       | 82       | 89.5  |
| Essais02 | 95.02    | 79       | 87.01 |

Donc l'équivalent de sable est de 88.25% ce qui le sable utilisée est **très propre** .

### II.2.2.6. Morphologique des grains de sable alluvionnaires

Les grains de sable alluvionnaires présentent des caractéristiques morphologiques distinctives qui reflètent leur processus de formation et de transport par les cours d'eau. Voici les principales caractéristiques morphologiques de ces grains :

#### Forme des Grains

##### 1- Forme arrondie :

- **Raison :** Le transport fluvial expose les grains à une abrasion continue  
par frottement et impact avec d'autres particules et les fonds des rivières.
- **Caractéristiques :** Les grains tendent à être plus arrondis et lisses par rapport aux  
grains de sable éoliens (transportés par le vent), qui peuvent être plus anguleux.

##### 2- Forme sub-angulaire à sub-arrondie :

- **Raison :** Certains grains n'ont pas été transportés sur de longues distances et n'ont  
donc pas subi autant d'érosion mécanique.

**Caractéristiques :** Ces grains ont des arêtes encore partiellement présentes mais montrent des signes d'usure

## **Chapitre II :Caractérisations des matériaux utilisés et méthodes expérimentales**

### **II.2.2.7. Analyse granulométrique (EN 933-1)**

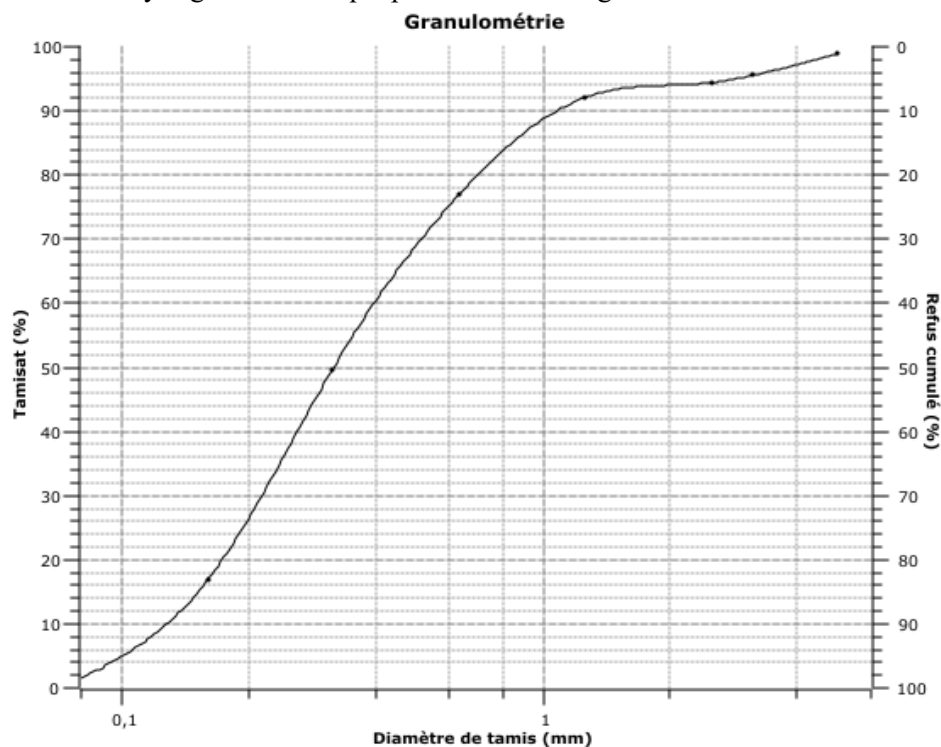
#### **II.2.2.7.1. Principe L'essai**

Il a été réalisé conformément à la norme **(EN 933-1)**, où les granulats passent à travers une série de tamis décroissante des mailles en **(mm)**. Les masses des différents refus et tamisats sont rapportées à la masse initiale du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme graphique.

#### **II.2.2.7.2. Mode opératoire**

- On dessèche l'échantillon et on pèse la masse sèche  $M_S$  de l'échantillon.
- On met du granulat sec sur la série des tamis. On met l'ensemble de la série des tamis sur la machine vibrante,
- On met en marche la machine jusqu'au moment où on considère que chaque tamis n'a retenu que la fraction granulométrique qui lui est due.
- On pèse les refus dans chaque tamis.

Les résultats de l'analyse granulométrique présentés sur la fig II.1



**Fig.II.8 : Distribution granulométrique du sable utilisée**

### II.2.2.7. Module de finesse de sable (EN 933-1)

Le module de finesse  $M_f$  du sable est défini comme suit:

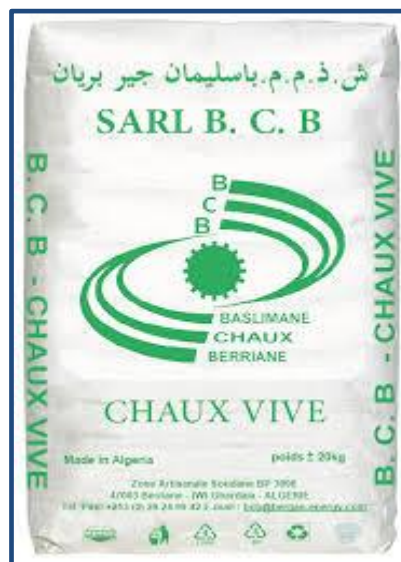
$$M_f = RC\% \div 100 \dots\dots\dots (II-13)$$

Avec :

- **RC** : Refus cumulé en % sur les tamis 0.16, 0.315, 0.63, 1.25, 2.5 et 5mm . On a obtenu un Module de finesse du sable égale à **1.52** Lorsque MF est comprise entre **1.52 < 1.8**. Le sable alluvionnaires utilisé est un sable très fin.

### II.2.3.La chaux

Nous avons utilisé de la chaux vive de SARI. B.C.B bou saada Wilaya de Msila ( **Figure II.8**) Comme retardateur de prise du plâtre, car il réduit la dissolution de ce dernier et permet d'augmenter sa durée d'utilisation. De plus, cela n'altère pas ces propriétés mécaniques. **[1]**



**Fig. II.9: Chaux Utilisée**

## ***Chapitre II :Caractérisations des matériaux utilisés et méthodes expérimentales***

### **II.2.3.1 Analyse chimique de la chaux utilisée**

Une analyse chimique de la chaux utilisée nous a été transmise par l'usine et représentée sur le tableau ci-dessous

| <i>Tableau II.5 : Analyse chimique de la chaux utilisée.</i> |            |            |                        |                                    |                                    |
|--------------------------------------------------------------|------------|------------|------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| <b>Constituants</b>                                          | <b>CaO</b> | <b>Mgo</b> | <b>SiO<sub>2</sub></b> | <b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | <b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> |
| <b>Pourcentage %</b>                                         | <b>56</b>  | <b>24</b>  | <b>0.4</b>             | <b>0.08</b>                        | <b>0.04</b>                        |

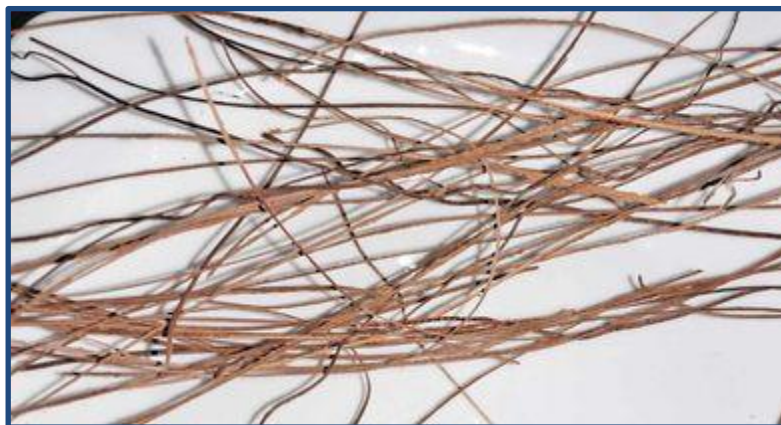
### **II.2.4. Eau de gâchage**

L'eau de gâchage utilisée est l'eau potable du réseau public de la ville de Laghouat. Le **PH** mesuré régulièrement est au voisinage de 7,5.

Si le choix a été porté sur cette eau est une eau qui a une pureté, et l'absence des excès des teneurs de sels, de sulfates et d'acides, et ceux-ci on se basant sur le rapport fourni par le laboratoire ADE de Laghouat.

### **II.2.5. Les fibres végétales du palmier dattier**

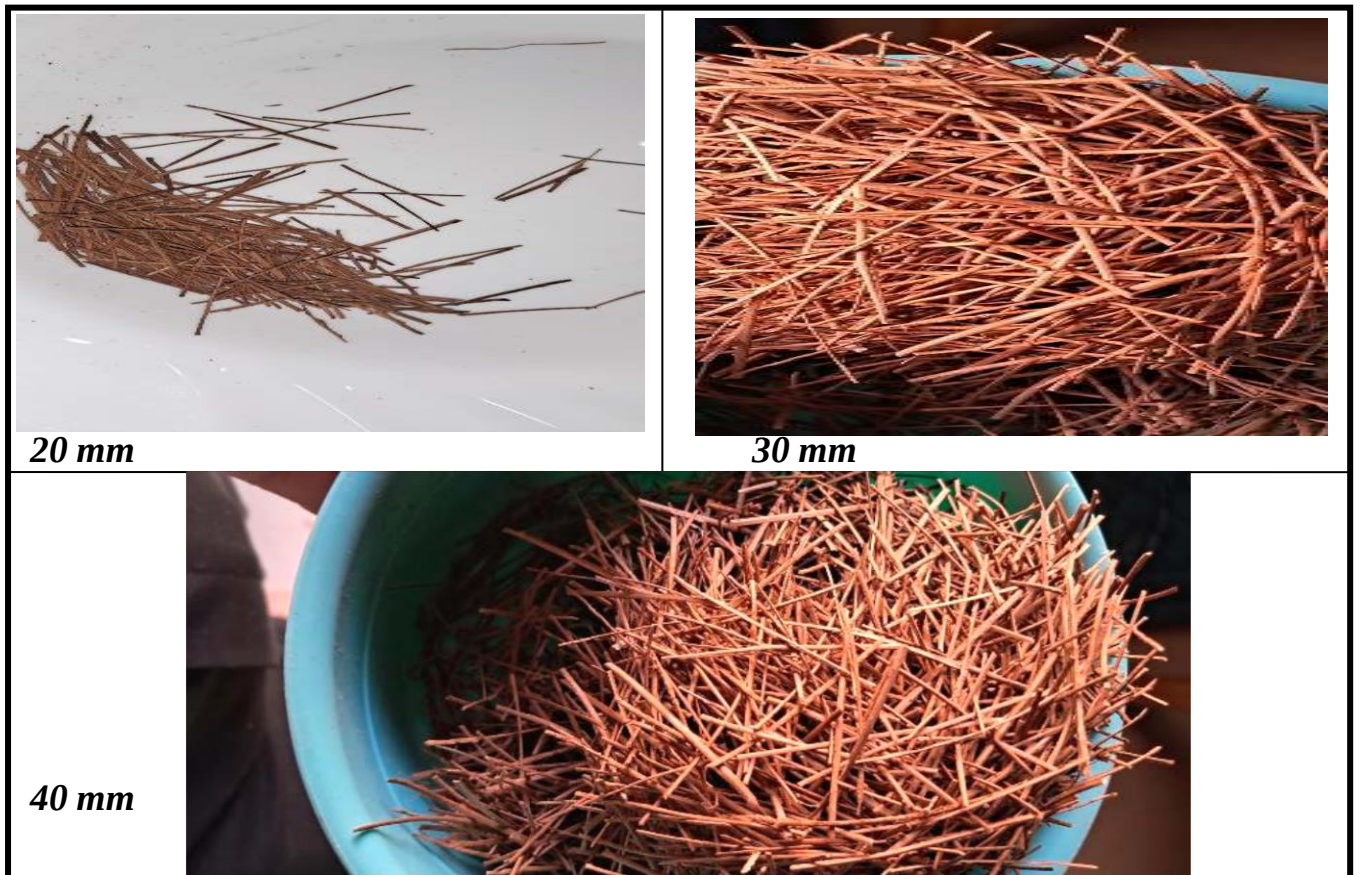
Les fibres utilisées sont des fibres végétales du palmier dattier disponible dans la région de Laghouat.



***FigII.10 : Fibres végétales de palmier dattier à l'état Naturel***

## **Chapitre II :Caractérisations des matériaux utilisés et méthodes expérimentales**

Pour couper les fibres végétales du palmier dattier en différentes longueurs, il faut les regrouper pour faciliter le travail. Les fibres sont découpées en morceaux de longueur de 20mm, 30mm et 40mm.



**Fig II.11:Les fibres végétales du palmier dattier coupées en différentes longueurs.**

Le tableau ci-dessous regroupe les propriétés physico-mécaniques les fibres de palmier dattier tuilières

### **II.6.Tableau Propriétés physico-mécaniques des fibres du palmier dattier [1]**

| <b>Propriétés</b>                       | <b>Valeur</b>  |
|-----------------------------------------|----------------|
| <b>Densité Apparente (kg/m3)</b>        | <b>1088.81</b> |
| <b>Densité Absolue (kg/m3)</b>          | <b>1540.00</b> |
| <b>Absorption D'eau après 24 heures</b> | <b>75.00</b>   |
| <b>Resistance à la traction(MPa)</b>    | <b>107.36</b>  |
| <b>Module de Young</b>                  | <b>2.57</b>    |
| <b>Elongation (%)</b>                   | <b>4.5</b>     |

### Microstructure des fibres du palmier utilisées

On observe sur La figure II.8, des petits filaments sous forme de pages de livre qui sont responsable de la flexibilité de la fibre. Il est montré aussi que la fibre du palmier est poreuse et possède des enchevêtrements sur sa surface , ce qui améliore la liaison fibre-matrice

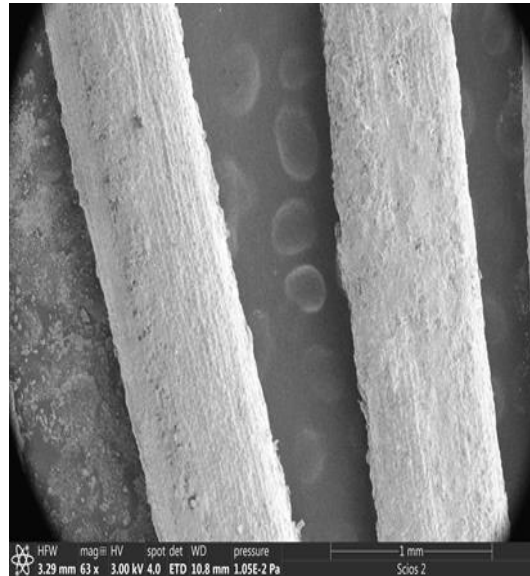


Figure II.8 : Vue latérale de la fibre du palmier

### II.3 Formulation Des Composite en plâtre

- La formulation des composites de plâtre à base de fibres végétales du palmier dattier a été préparé comme suit : **Composition 1** : Plâtre
- **Composition 2** : Plâtre+ Sable
- **Composition 3** : Plâtre + Sable + Fibres

On ajoute 6% de la Chaux vive comme retardateur de prise.

- **S/P=0.5** Rapport recommandé par **CNERIB [1]**

On a fait cette formulation pour les longueur **20mm /30mm** et **40mm**

## Chapitre II :Caractérisations des matériaux utilisés et méthodes expérimentales

### Chapitre II :Caractérisations des matériaux utilisés et méthodes expérimentales

**Tableau II.7 :différents mélanges de plâtre renforcé par les fibres végétales du palmier dattier**

| Mélange        | Plâtre(g) | Chaux(g) | Sable (g) | Eau(g) | Longueur<br>de fibre<br>(mm) | Dosage% | Dosage<br>(g) |
|----------------|-----------|----------|-----------|--------|------------------------------|---------|---------------|
| Référence(P+S) | 340       | 20,4     | 170       | 204    | -                            | -       | -             |
| M20F0,5        | 340       | 20.4     | 170       | 204    | 20                           | 0.5     | 2.65          |
| M20F1,0        |           |          |           |        |                              | 1       | 5.3           |
| M20F1,5        |           |          |           |        |                              | 1.5     | 7.95          |
| M20F2,0        |           |          |           |        |                              | 2       | 10.6          |
| M30F0,5        | 340       | 20.4     | 170       | 204    | 30                           | 0.5     | 2.65          |
| M30F1,0        |           |          |           |        |                              | 1       | 5.3           |
| M30F1,5        |           |          |           |        |                              | 1.5     | 7.95          |
| M30F2,0        |           |          |           |        |                              | 2       | 10.6          |
| M40F0,5        | 340       | 20.4     | 170       | 204    | 40                           | 0.5     | 2.65          |
| M40F1,0        |           |          |           |        |                              | 1       | 5.3           |
| M40F1,5        |           |          |           |        |                              | 1.5     | 7.95          |
| M40F20         |           |          |           |        |                              | 2       | 10.6          |

## ***Chapitre II :Caractérisation des matériaux utilisés et méthodes expérimentales***

### **II.3.1. Le processus de malaxage:**

- On mélange le plâtre, les fibres, la chaux et le sable à sec.
- Dans un récipient on met l'eau et on saupoudre le mélange sec avec un malaxage manuelle et rapide, cette étape prend une durée de **30sec**,
- On commence à remplir les moules par 3 couches et à l'aide d'une tige on pique les couches pour éviter tous les problèmes de ségrégation, le moule a une dimension de **4x4x16 cm<sup>3</sup>**.
- Le démoulage est fait après **24 heures**.

### **II.3.2. Conservation des éprouvettes**

La conservation des éprouvettes démoulées se fait a l'air ambiant du laboratoire avec une température de **T=25°±1** et une humidité relative **45% ±5**, j'jusqu'à l'âge de **28 jours**.

## **II.4. Caractérisation physique**

### **1.4.1. Masse volumique**

Les éprouvettes **4x4x16 cm<sup>3</sup>** sont pesées régulièrement au cours du temps, et cela à l'aide d'une balance de précision de **0.1g**. Les masses volumiques a l'âge de **28 jours** sont mesurées lors de cette étude.

## **II.5. Caractérisation mécanique**

### **II.5.1. Résistance à la flexion EN 196-1**

L'essai de flexion à trois points et l'essai de compression sont réalisés selon la norme **EN 196-1**, sur les échantillons élaborées, moyennant un appareil d'essais mécanique de marque "**CONTROLS**" de charge maximale de **100 KN** muni d'un ordinateur. La valeur de la charge de rupture est lue directement sur le fichier résultat.

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

$$R_f = \frac{3F_r L}{2b^3} \dots\dots\dots (II-14)$$

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

**L**: Distance entraxe des rouleaux (**L=100 mm**);

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

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

### **II.5.2.Résistance à la compression EN 196-1**

Les essais de résistance à la compression par écrasement ont été effectués sur des six morceaux d'éprouvettes obtenus après rupture en flexion sont alors soumis à une compression uni axiale sur bâti de compression de la même presse avec une vitesse de mise en charge de **2400 N/s** **200 N/s**. La résistance à la compression est déterminée par la formule suivante :

$$R_c = F_c / A \dots\dots\dots (II-15)$$

**R<sub>c</sub>**: Résistance à la compression en **MPa**.

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

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

## Conclusion

L'analyse propriétés des matériaux employés révèle les points suivants :

- ✓ Le plâtre utilisé présente une qualité élevée, comme en témoigne sa forte teneur en  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .
- ✓ Les tests de finesse de mouture et de prise indiquent que ce plâtre est classé comme un plâtre gros de construction avec un temps de prise court, suggérant ainsi l'importance de l'ajout d'un retardateur de prise.
- ✓ Le sable alluvionnaires est très propre , caractérisé par sa grande pureté.
- ✓ L'eau de gâchage présente un **PH** d'environ 7,5, ce qui est approprié pour la préparation du béton.
- ✓ Les fibres végétales du palmier dattier se distinguent par résistance à la traction acceptable, et un module du Young faible

## ***Chapitre III***

### ***Résultat et interprétations***

### Chapitre III :Résultats et interprétations

#### I).Introduction

Dans le présent chapitre on a étudié l'effet de l'ajout des fibres végétale des palmiers dattiers sur les propriétés physico-mécanique du plâtre. En tenant compte des paramètres liés aux fibres tels que le dosage et la longueur. Les résultats obtenus sont comparés à des évaluations théoriques et les travaux de différents expérimentateurs qui ont travaillé sur cet axe.

#### II).Influence de la longueur et du dosage de fibre sur les propriétés physiques du plâtre

Le tableau III.1 donne les résultats de la variation de la masse volumique et l'absorption d'eau du mortier de plâtre renforcés avec les fibres végétales des palmiers dattier.

**Tableau III.1 : Variation des propriétés physiques du mortier de plâtre avec différents dosages et longueurs de fibres du palmier.**

| <i>Propriétés</i>        | <i>Absorption d'eau %</i> | <i>Masse volumique<br/>kg\ m3</i> |
|--------------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| <i>Mortier de plâtre</i> | <i>22%</i>                | <i>1452,5</i>                     |
| <i>P+F (0.5)L=20mm</i>   | <i>22,3</i>               | <i>1447,2</i>                     |
| <i>P+F (1) L=20mm</i>    | <i>23,4</i>               | <i>1447,7</i>                     |
| <i>P+F (1.5)L=20mm</i>   | <i>23,70</i>              | <i>1437,5</i>                     |
| <i>P+F (2)L=20mm</i>     | <i>24,01</i>              | <i>1435,5</i>                     |
| <i>P+F (0.5)L=30mm</i>   | <i>19,72</i>              | <i>1447,5</i>                     |
| <i>P+F (1)L=30mm</i>     | <i>21,85</i>              | <i>1433,5</i>                     |
| <i>P+F (1.5)L=30mm</i>   | <i>22,2</i>               | <i>1434,5</i>                     |
| <i>P+F (2)L=30mm</i>     | <i>22,60</i>              | <i>1431,5</i>                     |
| <i>P+F (0.5)L=40emm</i>  | <i>17,87</i>              | <i>1447</i>                       |
| <i>P+F (1)L=40mm</i>     | <i>20,26</i>              | <i>1433,5</i>                     |
| <i>P+F (1.5)L=40mm</i>   | <i>20,21</i>              | <i>1414,5</i>                     |
| <i>P+F (2)L=40mm</i>     | <i>18,55</i>              | <i>1358,5</i>                     |

### ***Chapitre III :Résultats et interprétations***

---

On remarque sur Le tableau III.1 que la masse volumique du composite diminue avec le dosage des fibres pour différentes longueur et cela est due au fait que les fibres créent de vides a l'intérieur de la matrice mortier de plâtre d'où la réduction de sa masse volumique. Nos travaux sont en accord avec les résultats de Djoudi [2].

**Le tableau III.1** montre aussi que l'absorption d'eau du plâtre augmente avec le dosage des fibres du palmier par les différents et cela que a l'augmentation de la porosité créé par l'introduction des fibres. Nous résultats sont en accord avec les recherches de Djoudi [2]

#### **III).Influence de la longueur et dosage de fibre sur les propriétés mécaniques du mortier de plâtre**

Les résultats des propriétés mécanique du composites étudiés sont résumés sur le tableau et les courbes ci-dessous.

### Chapitre III :Résultats et interprétations

| Mélange        | Longueur | Dosage % | Flexion (MPa) | Compression (MPa) |
|----------------|----------|----------|---------------|-------------------|
| Référence(p)   | -        | -        | 6,61          | 8,35              |
| Référence(P+s) | -        | -        | 3,84          | 14,59             |
| M20F05         | 20mm     | 0,5      | 4.83          | 14.59             |
|                |          |          |               | 14.33             |
|                |          | 1        | 5.11          | 13.96             |
|                |          |          |               | 12.46             |
|                |          | 1.5      | 4.55          | 13.43             |
|                |          |          |               | 13.39             |
|                |          | 2        | 5.59          | 12.73             |
|                |          |          |               | 14.84             |
| M30F05         | 30mm     | 0,5      | 5,11          | 14,17             |
|                |          |          |               | 15,33             |
|                |          | 1        | 4,35          | 12,97             |
|                |          |          |               | 12,74             |
|                |          | 1.5      | 5,50          | 11,06             |
|                |          |          |               | 10,65             |
|                |          | 2        | 7,43          | 14,88             |
|                |          |          |               | 15,34             |
| M40F05         | 40mm     | 0,5      | 5,66          | 14,80             |
|                |          |          |               | 14,50             |
|                |          | 1        | 5,85          | 13,50             |
|                |          |          |               | 13,42             |
|                |          | 1.5      | 6,09          | 12,48             |
|                |          |          |               | 11,59             |
|                |          | 2        | 9,80          | 11,03             |
|                |          |          |               | 10,83             |

### Chapitre III : Résultats et interprétations

D'après la figure III.2, on remarque que la résistance à la flexion du mortier de plâtre augmente avec le dosage des fibres pour les deux longueurs 30 et 40mm, concernant les fibres de 20mm de longueur la résistance à la flexion diminue pour le dosage 1,5%, après elle augmente pour le dosage 2%, les meilleurs résultats sont obtenus pour le dosage 2% de fibres de longueur 40mm et elle est de l'ordre de 9,80 Mpa.

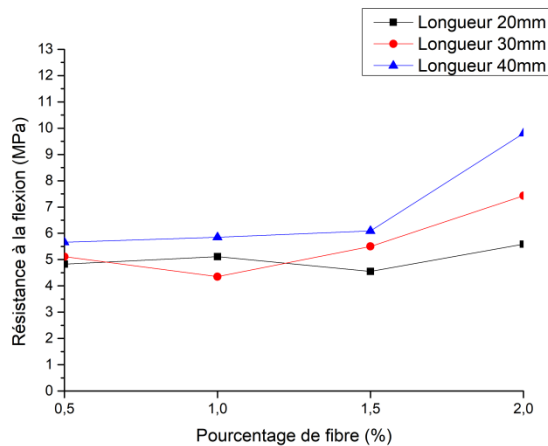


Fig-2 : Résistance à la flexion

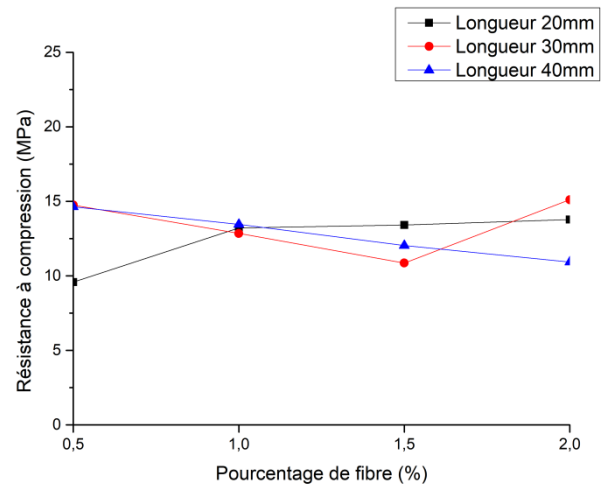


Fig-3 : Résistance à la compression

La figure III.3 montre que les résistances à la compression des mortiers de plâtre croît avec le dosage des fibres pour la longueur de 20 mm et décroît pour les autres longueurs, les meilleurs résultats sont obtenus pour les fibres de 30 mm et elle est de l'ordre de 15.5Mpa . Cette réduction de la résistance à la compression pour les différentes longueurs est en accord avec la littérature.

#### 1. RÉSULTATS ET DISCUSSION :

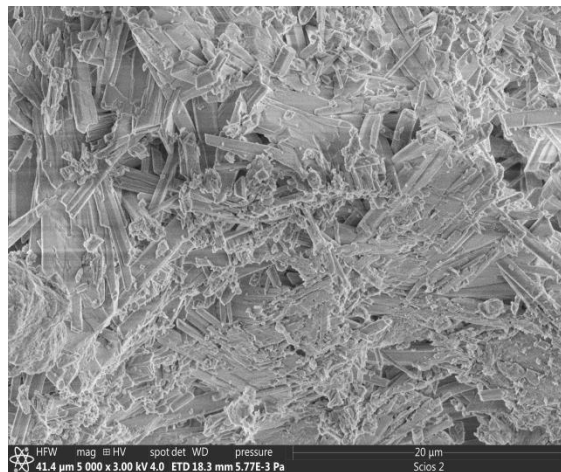
**1. Flexion 3-points :** Après 28 jours de conservation à l'air libres, on effectue un essai de flexion pour déterminer la résistance à la flexion des différents mélanges. Les résultats sont présentés dans la Tableau-3, ainsi qu'une comparaison des valeurs de la flexion selon la longueur et le pourcentage sont démontrés dans la Figure-2

**2. Compression :** La résistance à la compression est déterminée en écrasant les éprouvettes après une conservation de 28 jours dans l'air libre, les résultats des différents mélanges sont présentés dans la Tableau-3. Une comparaison de la résistance à la compression est présentée dans la Figure-3 selon la longueur des fibres et leurs pourcentages dans le mélange.

### ***Chapitre III :Résultats et interprétations***

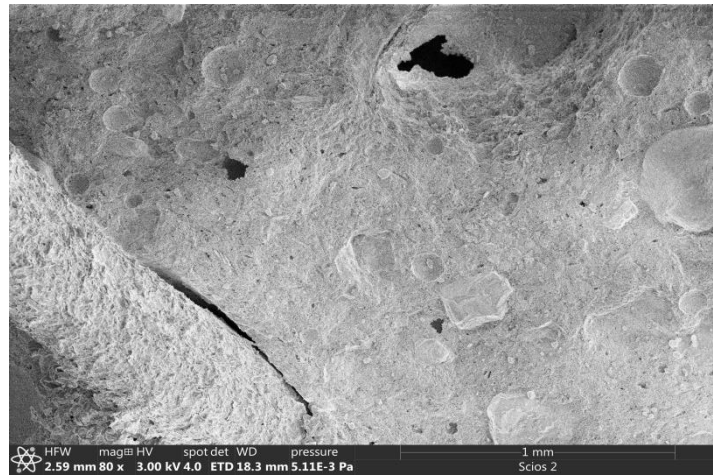
#### **IV) Microstructure des mortiers de plâtre renforcés par les fibres du palmier dattier**

Les photos de microstructure des composites étudiés ont été visualisées par un microscope électronique à balayage au sein du plateau technique, PTAPC, nouveau pôle universitaire à Laghouat ; La figure III.4 montre la texture interne du mortier de plâtre, on observe les feuilletés du plâtre sous formes prismatiques.



**Figure III.4:**Microstructure interne du mortier de plâtre

La figure III.5 présente l'interface sable –fibre et quelques cristaux de gypse qui s'adhère au sable. On observe aussi des pores dans la matrice mortier de plâtre.



**Figure III.5 : Interface fibre-matrice**

### *Chapitre III : Résultats et interprétations*

## Conclusion

L'analyse des caractéristiques physico-mécaniques des composites de plâtre et des mortiers de plâtre renforcés par des fibres végétales du palmier dattier a révélé les constations suivantes :

- La densité du mortier de plâtre diminue avec l'incorporation de fibres végétales du palmier dattier, quel que soit le pourcentage ou la longueur des
- La résistance à la compression du mortier de plâtre renforcés par des fibres végétales du palmier dattier décroît avec le dosage et la longueur des fibres utilisées
- La résistance à la flexion augmente avec le dosage des fibres ainsi un maximum est obtenu avec la longueur de 40 mm et le pourcentage 2% de fibres utilisées.



***Conclusion***

***Générale***

## **Conclusion générale**

---

### **Conclusion générale**

L'ajout de fibres de palmier dattier au plâtre présente plusieurs avantages en termes de propriétés mécaniques, physiques et de durabilité. Cette technique permet de créer des matériaux de construction plus performants et écologiques. Cependant, pour obtenir les meilleurs résultats, il est crucial de déterminer la proportion optimale de fibres et d'assurer une bonne dispersion des fibres dans la matrice de plâtre.

Cette étude entre dans le cadre de l'utilisation des matériaux locaux et la valorisation des fibres naturelles dans le domaine de construction. Les matériaux utilisés sont le sable alluvionnaire, les fibres végétales du palmier dattier d'une source renouvelable et le plâtre qui ne produit que de l'eau lors de sa fabrication, donne il s'intègre parfaitement à la logique du développement durable.

A la lumière des résultats obtenus de cette étude on conclut que :

- ✓ Les fibres végétales ont un grand effet sur les performances du mortier de plâtre.
- ✓ L'incorporation de fibres aide à améliorer considérablement la résistance à la flexion du composite.
- ✓ Un taux de 2% de fibre quel que soit la longueur, améliore la résistance à la flexion.
- ✓ La résistance à la flexion diminue avec l'ajout des fibres végétales quel que soit la longueur, cependant pour les fibres 20mm un optimum de résistance est obtenu avec un dosage de 2%.
- ✓ La masse volumique du composite est affectée par les fibres, la masse volumique minimale correspond à un dosage de 2% de fibre de 40mm de longueur. Par contre l'absorption d'eau des composites augmente avec le pourcentage des fibres utilisées.

En conclusion, le mortier de plâtre incorporant des fibres de palmier dattier est un matériau possédant une bonne résistance à la flexion et une masse volumique faible le rendant un composite parfait pour concevoir des plaques ainsi l'utilisation de ces dernières pour les toits ou séparations pour garantir une résistance et une isolation thermique, de ce fait le matériau aide grandement à la préservation de l'environnement du côté consommation énergétique, émission de CO<sub>2</sub> et favorisant l'utilisation des fibres d'une source abondante.

En fin on recommande de compléter ce travail par:

Détermination des propriétés thermo-physiques et acoustiques du mortier de plâtre renforcé par les fibres végétales du palmier dattier sans oublier d'étudier la durabilité des composites élaborés.

*Référence*

*Bibliographiques*

## **Références bibliographique**

---

[1] "Plâtre (Wikipédia) Fédération des Industries du Plâtre - Ce site détaille les différentes applications du plâtre dans le domaine de la construction. Fédération des Industries du Plâtre- Knauf est un fabricant majeur de matériaux de construction. la composition chimique du plâtre et ses divers avantages dans les projets de construction. Knauf - Le Plâtre Saint-Gobain est une autre entreprise leader dans la production de matériaux de construction. Saint-Gobain - Le Plâtre Ce document explore la transformation du gypse en plâtre, Gypfor - Le Processus de Fabrication du Plâtre .Avril 2020"

[2] A. Djoudi, M.M. Khenfer, A. Bali, E.H. Kadri and G. Debicki. Performance of date palm fibres reinforced plaster concrete. International Journal of Physical Sciences Vol. 7(21), pp. 2845-2853, 30 /May, 2012.

[3] "Documentation Technique sur le Plâtre (PDF) /CSTB - Le cycle de vie du plâtre 15aout 2021"

[4] " Article sur le gypse. Disponible en ligne : Gypse (consulté le 13 juin 2024)" et Warren, J.K. (2006). Evaporites: Sediments, Resources, and Hydrocarbons. Springer. [ISBN : 9783540323441].

[5] "Larousse.fr. Fabrication du plâtre. Disponible en ligne : Fabrication du plâtre (consulté le

13 juin 2024)" . et "British Gypsum. (2020). Gypsum Product Manufacturing Process.Disponible en ligne : British Gypsum (consulté le 13 juin 2024)"

[6] "Article de Techniques de l'Ingénieur. (2020). "Le gypse et les plâtres - Fabrication des plâtres". Disponible en ligne : Le gypse et les plâtres - Techniques de l'Ingénieur."

[7] " Jean-Pierre Oliva et Samuel Courgey (2012). L'isolation thermique écologique :

Conception, matériaux, mise en œuvre. Terre Vivante. ISBN : 9782360980254. -"John Cloete (2016). Plastering: An Encyclopedia. CreateSpace Independent Publishing Platform. ISBN : 9781534988358. Ce livre offre des détails approfondis sur les techniques d'application du plâtre, y compris les enduits pelliculaires.-"Nash, J. (2011). Drywall: Professional Techniques for Great Results. Taunton Press. ISBN : 9781600854096."

[8] "ADEME (2018). Guide pratique sur la gestion des déchets de chantiers. Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie. Disponible en ligne : Gestion des déchets de chantier. Ce guide détaille les méthodes de gestion et de recyclage des déchets de construction, y compris le plâtre."

## ***Références bibliographiques***

---

- [9]"Federec (2020). Le recyclage des déchets de plâtre en France. Fédération des Entreprises du Recyclage."
- [10] " Geng, Y., et al. (2021). Sustainable valorization of waste gypsum from construction and demolition waste as a co-substrate in anaerobic digestion: Performance evaluation and kinetic modeling. *Journal of Cleaner Production*, 314, 128002. DOI : 10.1016/j.jclepro.2021.128002."
- [11] "Article sur le plâtre et ses utilisations. Disponible en ligne : Encyclopédie de la construction et de l'urbanisme ."
- [12] Chapitre sur les panneaux et cloisons en plâtre//éléments de plafond. Disponible en ligne : Manuel de construction et d'aménagement intérieur 2018".
- [13] "Manuel de matériaux de construction et techniques de construction 2015. Chapitre sur les caractéristiques du plâtre.Manuel de matériaux de construction"
- [14] la chimie de plâtre : "Lea, F.M. (1998). *Chemistry of Cement and Concrete* (4ème éd.). Butterworth-Heinemann. ISBN : 978-0750662567. -Manuel de technologie du plâtre : Gowri, K., et al. (2013). *Gypsum: Properties, Production, and Applications*. Nova Science Publishers. ISBN : 978-1628086832. - "Article scientifique sur le comportement du plâtre : Sharpe, R.J. (2002). The hydration and setting of gypsum plaster. *Journal of Materials Science*, 37(3), 547-553. DOI : 10.1023/A:13764603389.
- [15] " Manuel sur les matériaux de construction et les adjuvants : Mehta, P.K., & Monteiro, P.J.M. (2014). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials* (4ème éd.). McGraw-Hill Education. ISBN : 978-0071797870. -"Article scientifique sur les adjuvants pour plâtre : Aydın, A.C., Baradan, B. (2007). Effect of Admixtures on Setting and Hardening of Gypsum Plasters. *Cement and Concrete Research*, 37(5), 815-822. DOI : 10.1016/j.cemconres.2007.03.006"
- [16] "Ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme, Algérie. (1981). *Règlement Parasismique Algérien (RPA 81)*." - CNERLB. (2021). *Recommandations pour l'utilisation du plâtre dans les constructions*."

## ***Références bibliographiques***

---

- [17] "Fleck, N.A., & Ashby, M.F. (2010). Composites. In Materials Selection in Mechanical Design (4ème éd.). Butterworth-Heinemann. DOI : 10.1016/B978-1-85617-663-7.00028. " Matmatch. (2023). What are Composite Materials?Matmatch - Composite Materials"
- [18] "Hearle, J. W. S. (Ed.). (2001). "High-Performance Fibres." CRC Press. Banfield, S. J., & Owen, M. J. (2004). "Polymer Composites: A Guide for Designers and Engineers." IOM Communications Ltd. - "Harris, B. (Ed.). (1999). "Engineering Composite Materials." Institute of Materials. Chung, D. D. L. (2016). "Carbon Composites." Butterworth-Heinemann. "
- [19] "Al-Hassani, E., Bahtiti, N., & Jarrah, A. (2020). "Investigation on the Mechanical Properties of Hybrid Reinforced Composites Using Date Palm and Coconut Fibers." Composite Structures, 240, 112042."
- [20] "Classification des fibres végétales selon leur composition chimique : Fibres ligneuses (dures et rigides) : Thomas, S., & Pothan, L. A. (Eds.). (2009). "Natural Fibre Reinforced Polymer Composites: From Macro to Nanoscale." Old City Publishing. Mohanty, A. K., Misra, M., & Hinrichsen, G. (2000).
- [21] Imed Miraoui, Sebti Jaballi, Souha Rabeh. Analysis of long unidirectional sisal fibers reinforced plaster: An experimental investigation. Materials Today: Proceedings , 52 (2022),pp. 152–157.
- [22] Alejandro Martinez Gordon, María Isabel Prieto Barrio, Alfonso Cobo Escamilla, Alberto Leal Matilla. From waste to resource: Exploring the recyclability and performance of gypsum-graphene nanofiber composites. Resources, Conservation & Recycling Advances. Volume 23, November 2024, 200222.

### ***Références bibliographiques***

---

[23] L. Senff a, G. Ascensão b, V.M. Ferreira c, M.P. Seabra b, J.A. Labrincha b. Development of multifunctional plaster using nano-TiO<sub>2</sub> and distinct particle size cellulose fibers. Energy and Buildings. Volume 158, 1 January 2018, Pages 721-735.

[24] Naziha Benzannache a b, Ahmed Belaadi c d, Massaouda Boumaaza a b, Mostefa Bouchak. Improving the mechanical performance of biocomposite plaster/ Washingtonian filifira fibres using the RSM method. Journal of Building Engineering. Volume 33, January 2021, 101840

[25] " Ralph, J., Lundquist, K., Brunow, G., Lu, F., Kim, H., Schatz, P. F., Marita, J.

M., Hatfield, R. D., Ralph, S. A., Christensen, J. H., & Boerjan, W. (2004). "Lignins: Natural Polymers from Oxidative Coupling of 4-Hydroxyphenyl-Propanoids." Phytochemistry Reviews, 3, 29-60."

### *Les Normes Utilisées*

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

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

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

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

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

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

**EN 933-1** : L'analyse granulométrique.

**EN 196-1** : Détermination la contrainte de flexion et compression de Mortier.



## ***Annexes***

## Annexes

### Annexe 1

**Tableau IV.1 : Composition Chimique de leau de gâchage (A.D.E-Laghouat)**

| <i>Nature du point d'eau</i>                                  |                         | <i>Robinet</i>                                      |                                |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------|
| <i>Ca +2 en mg/l</i>                                          | <b>108</b>              | <i>Balance cations<br/>m éq/l</i>                   | <b>5.00</b>                    |
| <i>Mg+2 en mg/l</i>                                           | <b>93</b>               |                                                     | <b>8</b>                       |
| <i>Na+ en mg/l</i>                                            | <b>100</b>              |                                                     | <b>4.45</b>                    |
| <i>K+ en mg/l</i>                                             | <b>635</b>              |                                                     | <b>0.12</b>                    |
| <i>Cl- en mg/l</i>                                            | <b>120</b>              | <i>Balance Anions<br/>m éq/l<br/>15.88</i>          | <b>4.11</b>                    |
| <i>SO4 -2 en mg/l</i>                                         | <b>500</b>              |                                                     | <b>10.66</b>                   |
| <i>HCO-3 en mg/l</i>                                          | <b>98</b>               |                                                     | <b>/</b>                       |
| <i>NO-3 en mg/l</i>                                           | <b>12.4</b>             |                                                     | <b>0.3</b>                     |
| <i>Résidu sec à 105C°<br/>1463mg/t</i>                        | <b>PH<br/>7.60</b>      | <i>Conductivité en 1/10 mm<br/>à 25°C<br/>17.22</i> | <i>Dureté totale<br/>44.77</i> |
| <i>Test chlore (ml d'eau De Javel à<br/>15° /m3) 0.96ml/t</i> |                         | <i>T.A.C<br/>7.8°C</i>                              | <i>S.A.F<br/>75°C</i>          |
| <i>I.S<br/>65.3°F</i>                                         |                         |                                                     |                                |
| <b>MINERALISATION</b>                                         | <b>M.O milieu Acide</b> | <b>SiO2</b>                                         | <b>Somme des ions</b>          |
| <b>1010.60</b>                                                | <b>en O2 8.11</b>       | <b>4.45 mg/l</b>                                    | <b>1100mg/l</b>                |
| <b>Cations</b>                                                | <b>Ca +2=15 %</b>       | <b>Mg+2=22.3%</b>                                   | <b>Na+ + K+ =14.50%</b>        |
| <b>Anions</b>                                                 | <b>HCO-3 =4.5 %</b>     | <b>SO4 -2=59.7 %</b>                                | <b>Cl- + NO-3 = 11.9 %</b>     |

## Annexes

### Annexe 2

#### Procédé de réalisation des éprouvettes



Fig 1 : Préparation des Mélanges

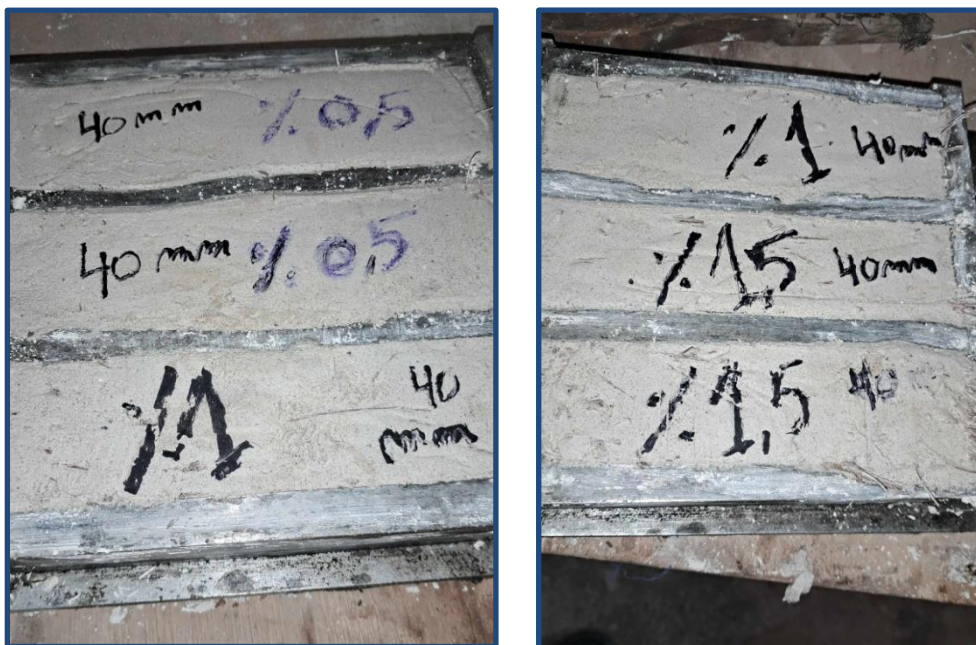


Fig 2 : Remplissage des Moules

## Annexes



*Fig3 : Les éprouvettes après l'essai de flexion*



*Fig4 : Les éprouvettes montre la distribution des fibres.*