

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ de Bouira



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées

Département de Génie Civil

**Mémoire de fin d'études**

Présenté par :

**Mme. Mansour Aicha**

En vue de l'obtention du diplôme de **Master 2** en :

**Filière : Génie Civil**

**Spécialité : Matériaux en Génie Civil**

**Thème :**

**Elaboration d'un matériau composite à base de granulats légers de nature végétale (déchet de bois)**

**Devant :**

- Président : ARIBI. C
- Examineur : BOUAMRA. Y
- Promoteur : MOUGARI. B

**Année Universitaire 2019/2020**

## Remerciements

### Remerciement

Avant tout, je remercie ALLAH tout puissant de m'avoir donné la volonté et le courage de mener à bien ce travail.

Je tiens en premier lieu à exprimer ma profonde reconnaissance à tous ceux qui m'ont aidé dans l'élaboration de ce travail, en particulier à mon encadreur M. Mougari B, pour sa disponibilité et sa méthode d'ouvrir leurs esprits aux étudiants, pour sa confiance d'accepter aisément mes idées.

Je tiens encore à remercier le membre jury, pour avoir accepté d'évaluer ce travail et donné leurs remarques et critiques en à propos.

Je tiens aussi à remercier les dirigeants responsables de laboratoire matériaux de construction, celle de la faculté des sciences et sciences appliquées Mr Berkane Farid et Mme louiza pour leur aide et leur disponibilité.

Ainsi que tous les enseignants qui nous ont assuré notre formation durant nos années d'étude

Merci à vous tous.

Dédicace

À mes parents qui ont causé mon existence Je remercie pour leurs sacrifices, leurs patiences, leurs soutiens, leur encouragements qui m'ont apporté durant toutes ces années d'étude

À mon mari Mohand

À mes sœurs aimées Sonia et son mari Fouaz, Linda et Karim, Hafida et Fouad.

Zakia, Lydia, Cylia, Yasmine.

Chers frères Madjid et AbdArrahman

À toute ma famille

À tous mes amies qui j'ai passé les plus beaux moments avec eux Ghania, Dehia, Sabrina, Sara, Zahia, Zahia, Nadira, Nesrine, Naima

Et tous mes collègues de groupe matériau en génie civil

À toutes les promotions qui sont passées et celles qui viennent

À tous les étudiants de ma promotion 2019/2020 et à l'exception l'option : Matériaux en Génie Civil

À tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer et atteindre à ce stade

## Résumé

---

Les matériaux composites sont utilisables dans les diverses applications à cause de leurs excellentes propriétés mécaniques, les matériaux renforcés par les fibres synthétiques traditionnelle ont le problème de leur déchets volumineux qui posent des problèmes sur l'environnement, et très coûteuses économiquement.

Alors les scientifiques cherchent des matériaux biodégradables peu coûteuse, pour remplacer ces fibres synthétiques, alors ont développé des composite renforcés par des fibres végétale, à cause de leur impact économique et écologique (faible coût, faible densité, renouvelables).

À travers notre travail, nous avons présenté une revue bibliographique sur les matériaux composites avec leurs différentes phases (matrice, renfort). Et une généralité sur les différents types des fibres végétale ainsi leurs caractéristiques physico-chimique, le comportement des composite à base des fibres végétale à partir de plusieurs essais réalisés par des chercheurs.

L'étude réalisée à l'objectif d'élaborer des composite à base des fibres de bois non traité avec des différents pourcentages 15% ; 30%, 45% de gamme 0/2 et le remplacement de 5%, 10% ; 15% de gamme 5/10 dans le pourcentage de gamme 0/2 pour le plâtre, aussi 30% ; 45% ; 60% (G 0/2) incorporé par 10% , 20%, 30% (G 5/10), afin d'examiner l'influence de la teneur des fibres sur les comportement physico-mécanique .

Une partie expérimentale qui commence par la description des matières premières utilisées et des procédures expérimentales les techniques de caractérisation. Cette partie résume les principaux résultats obtenus.

## **Abstract**

Composite materials can be used in various applications because of their excellent mechanical properties, materials reinforced by traditional synthetic fibers have the problem of their voluminous waste which poses problems on the environment, and very expensive economically.

So researchers are looking for cheap biodegradable materials, have developed composites reinforced by plant fibers, a cause of their economic and ecological impact (low cost, low density, renewable).

Throughout work, we have presented a literature review on composite materials with their different phases (matrix, reinforcement). And a generality on the different types of plant fibers and their physico-chemical characteristics, the behavior of composites based on plant fibers from several tests conducted by researchers.

The study carried out with the objective of elaborating composites based on untreated wood fibers with the following percentages: 15%; 30%, 45% of range 0/2 and the replacement of 5%, 10%; 15% of range 5/10 in the percentage of range 0/2 for the plaster grout, also 30%; 45%; 60% (G 0/2) incorporated by 10%, 20%, 30% (G 5/10), in order to examine the influence of the fiber content on the physico-mechanical behavior.

An experimental part which starts with the description of the raw materials and experimental procedures and characterization techniques. This part summarizes the main experimental results.

يمكن استخدام المواد المركبة في تطبيقات مختلفة بسبب خصائصها الميكانيكية الممتازة للألياف الاصطناعية التقليدية التي تقوم بدعم المواد المركبة لديها مشكلة النفايات الضخمة التي تسبب مشاكل بيئية، ومن الناحية الاقتصادية مكلفة للغاية.

لذلك يبحث العلماء عن مواد غير مكلفة قابلة لتجديد لتعويض الألياف الاصطناعية التقليدية، لذلك طوروا مركبات معززة بالألياف النباتية، بناءً على تأثيرها الاقتصادي والبيئي (تكلفة منخفضة، كثافة منخفضة، متجددة)

من خلال عملنا، قمنا بتعريف المواد المركبة مع مختلف مكوناتها (المصفوفة، التعزيز)

وعمومًا على الأنواع المختلفة للألياف النباتية بالإضافة إلى خصائصها الفيزيائية والكيميائية، وسلوك المركبات بناءً على عدة اختبارات أجراها الباحثون.

الدراسة التي قمنا بها هي تعزيز المواد المركبة بألياف الخشب غير معالجة بنسب ماوية 15% 30% 45% في مجال 2/0 مع تعويض 5% ثم 10% ثم 15% من المجال 5/10 في النسب الماوية للمجال 2/0 بالنسبة للجبس اما بالنسبة للإسمنت لقد استعملنا 30% 45% 60% من الألياف الخشبية مجال 2/0 وتعويض نسبة 10% 20% 30% من مجال 2/0 بمجال 5/10 و ذلك لفحص تأثير محتوى الألياف على السلوك الفيزيائي والميكانيكي.

المرحلة التطبيقية التي بدأت بوصف المواد الأولية المستعملة وتقنيات الإجراءات التجريبية.

يلخص هذا الجزء النتائج الرئيسية التي تم الحصول عليها من خلال التجارب.

<u>Introduction Générale</u> .....	13
<u>Chapitre I : Recherche bibliographique sur les matériaux de nature végétale</u> .....	14
I.1 Introduction .....	15
I.2. Les fibres végétales .....	15
I.3. Matériaux composites.....	15
I.3.1. Caractéristiques d'un matériau composite :.....	16
I.3. 2. Les composants d'un matériau composite :.....	16
I.3.2.1. La matrice :.....	17
I.3.2.1. 1. Classification des types de matrices :.....	17
I.3.3. Les renforts.....	18
I.4. présentation des fibres végétales.....	20
I.4.1. fibres de jute.....	21
I.4.2. fibres de chanvre.....	21
I.4.3. fibres de sisal.....	22
I.4.4. fibres d'alfa.....	22
I.4.5. fibres de lin.....	22
I.4.6. fibres de bois.....	23
I.4.7. fibres de diss.....	23
I.4.8. fibres de liège.....	24
I.5. Granulats végétaux.....	25
I.6. Structure de la fibre végétale.....	25
I.7. Avantages et inconvénient des fibres végétales.....	26
I.8. Différentes propriétés des fibres végétales.....	26
I.8.1. Propriétés mécaniques de la fibre végétale.....	26
I.8.2. Propriétés physico-mécaniques des fibres végétales.....	27
I.8.3. utilisation des fibres végétales.....	28
I.9. Cotes économique d'utilisation des végétales .....	28
I.10. Conclusion.....	29
<i>Chapitre II: Revue de littérature sur les composites renforcés de granulats légers de nature végétale</i>	
II.1 : Introduction .....	31
II.2 : Matériaux composites renforcés par des fibres végétales .....	31
II.2.1 : Matrice polymère à base des fibres végétales .....	31
II.2.2. Compatibilité des fibres végétales avec le ciment .....	34
II.3 : Interface fibre-matrice notion d'adhésion .....	35
II.3.1 : les propriétés physiques des matériaux composites à base des agro-ressources .....	35
II.3.2. Propriétés mécaniques .....	36
II.3.3. : les propriétés d'isolation thermique et acoustiques des matériaux composites à base des agro-ressources.....	37
II.4. Traitement des fibres végétale .....	40

II.4.1.Traitements physiques .....	40
II.4.2.Traitement chimique des fibres végétal .....	40
II.4.2.1 Traitement Alcalin [FRE 06, CAO 06] .....	40
II.4.2.2.Traitement de Silane.....	43
II.4.2.3.Traitement à l’hydroxyde de calcium .....	43
II.4.3.Traitement thermique .....	43
II.5.Conclusion du chapitre .....	45
Chapitre III : Caractérisation des matériaux utilises et Procédés expérimentaux .....	47
III.1.Introduction.....	46
III.2.Matériaux Utilisés.....	46
III.2.1.Scieur de bois.....	46
III.2.2.La caractérisation physique de la scieur de bois .....	46
III.2.2.1.L’analyse Granulométrique.....	46
III.2.2.2.Détermination de la masse volumique apparente de scieur de bois .....	47
III.2.2.3.Méthodologie.....	47
III.2.2.4.Détermination de la masse volumique apparente de la sciure de bois.....	48
III.2.2.5. Détermination de la masse volumique absolue.....	48
III.2.3.Le coulis de plâtre et de ciment .....	48
III.2.3.1.Mode Opérateur.....	50
III.2.3.1.1. Calcul des quantités de matériaux nécessaires pour les différentes éprouvettes.....	50
III.2.3.1.2.Calcul des quantités de matériaux nécessaires pour les différentes éprouvettes.....	53
III.2.3.2.Essai d’étalement sur la table vibrante.....	55
III.2.4.Caractérisation mécanique.....	57
III.2.4.1.La résistance à la flexion.....	57
III.2.4.1.1.Mécanisme de rupture.....	57
III.2.4.1.2. Machines de flexion.....	58
III.2.4.2.Résistance à la compression.....	58
III.2.4.2.1. Machine de compression.....	58
III.3.Essai de l’ultrasonore.....	59
III.3.1.contrôle non destructif du mortier à l’aide d’un dispositif automatisé (ProceqPUNDIT® PL-200) .....	59
III.3.2.Appareillage.....	59
III.3.3.Avantages.....	60
III.3.4.Mode Opérateur.....	60
III.3.5.Les étapes de mesure avec l’appareillage de Pundit PL-200 selon la norme européenne EN12504-4.....	61
III.4.Conclusion de chapitre .....	62
Chapitre IV : Présentation des résultats expérimentaux et discussion.....	63
<u>IV.1. Introduction :</u> .....	64
<u>IV. 2. Essais de caractérisation physiques :</u> .....	64
<u>IV.2.1. la variation de la masse des composites réalisés en fonction de leur déshydratation :</u> .....	65
<u>IV.2.2. la variation de la perte masse des composites réalisés en fonction de leur déshydratation :</u> .....	65
<u>IV.2. 3 : Les masses volumiques apparentes des éprouvettes à 7, 14 et 28 jours (à l’état durci) :</u> .....	66
<u>IV.3 : Les essais de caractérisation mécaniques :</u> .....	67



<u>IV.3.1 : Essai de la compression sur les composites légers réalisés :</u> .....	67
<u>IV.3.2 : Essai de la flexion sur les composites légers réalisés :</u> .....	69
<u>IV.3.3 : Interprétation des résultats :</u> .....	71
<u>IV.4.L’ultrasonore :</u> .....	71
<u>IV.4.1. Essai de propagation des ondes ultrasonores</u> .....	71
<u>IV.4.2. : Observations et analyses des résultats de l’essai de propagation ultrasonore</u> .....	75
<u>IV.5.Conclusion du chapitre :</u> .....	76
<u>Conclusion générale</u> .....	77

**Liste des figures du chapitre I : Recherche bibliographique sur les matériaux de nature végétale**

Figure I. 1: Matériau composite .....16  
 Figure I. 2:(Les éléments constitutifs d'un matériau composite) .....16  
 Figure I. 3: Classification schématique des différents types de composites [CAL 01] .....16  
 Figure I. 4: Type de matrices.....17  
 Figure I.5: Types de matrice polymérique .....18  
 Figure I.6 :.Type de renforts .....19  
 Figure I.7 : Classification des fibres naturelles en fonction de leur origine .....19  
 Figure I. 8:Classification des fibres végétales .....20  
 Figure I.9: la fibre de jute .....21  
 Figure I.10: Plante de chanvre et différents types de fibres du chanvre .....21  
 Figure I.11: Le sisal [23] .....22  
 Figure I.12: Images de la plante d'Alfa .....22  
 Figure I. 13:.Fibre de lin .....23  
 Figure I. 14:Structure du bois (observations multi échelles) [MIC 03] .....23  
 Figure I.15:Ampelodesmamauritanica (DISS) : A- fleurissante, B- non fleurissante .....24  
 Figure I. 16:chaîne -liège yakouren .....24  
 Figure I. 17:Copeau de bois et chènevotte .....25  
 Figure I. 18:Structure schématique d'une fibre végétale .....26

**Liste des figures du chapitre II : Revue de littérature sur les composites renforcés de granulats légers de nature végétale**

Figure II. 1 : Résistances à la flexion et à la compression en fonction du rapport Eau/Ciment pour différentes formulations .....32  
 Figure II. 2 : Comparaisons de la résistance de compression béton de bois et le béton témoin .....32  
 Figure II. 3 : Résistance à la compression du mortier de ciment mélangé SDA .....33  
 Figure II. 4 : Résistance à la flexion du mortier de ciment mélangé SDA .....33  
 Figure II. 5 : Résistances moyennes à la compression d'échantillons de béton perméables avec une quantité variable de fine sciure de bois .....34  
 Figure II. 6 : Résistance à la flexion du PC avec du charbon fl y cendres et quantité optimale de fine sciure à différents temps de séchage. ....34  
 Figure II. 7 : Courbes de thermogramme ATG et DTG de fibre de sisal naturel (IF), traitée avec NaOH 1% (TFN), et traitée avec NaOH 1% et immergée dans l'huile de paraffine (TFPN) .....35  
 Figure II. 8 : ( a) densité apparente et ( b) porosité de différents types de mortier .....36  
 Figure II. 9 : Représentation schématique du comportement en flexion trois points :(a) gypse pur (b) composite gypse-fibre de sisal. [BOU 02] .....37  
 Figure II. 10 : Courbe de comportement d'un échantillon de pâte de ciment et d'un composite ciment / fibres végétales en flexion (Leick et al., 2010).....37  
 Figure II. 11 : la conductivité thermique des fibres végétales .....38  
 Figure II. 12 : la conductivité thermique des composites renforcés de fibres végétales (PFRC) .....39  
 Figure II. 13 : le mécanisme d'absorption d'énergie thermique des composites renforcés de fibres végétales (PFRC) en fonction de coefficient de réduction du bruit (CNRC). ....40  
 Figure II. 14 : Absorption d'eau des fibres de lin avec ou sans traitement (Chafei, 2014)[66] .....41  
 Figure II. 15 : Influence du taux de fibres de lin sur la résistance en compression du mortier (Chafei, 2014) .....41  
 Figure II. 16 : Absorption d'eau en fonction du temps des particules sèches de chènevotte (Cérézo, 2005) .....42

Figure II. 17 : Comportement mécanique en flexion 3 points d'une matrice cimentaire renforcée par des fibres de chanvre brutes (FIB), et des fibres traitées avec une solution de soude (FIBNA) et de chlorure d'aluminium (FIBAL) à 28 jours (a) et après 12 mois de vieillissement naturel (b) (Sedan, 2007) .....42

Figure II. 18 : TGA / DTA de l'échantillon de sciure. ....43

**Liste des figures du chapitre III : Caractérisation des matériaux utilisés et Procédés expérimentaux**

Figure III. 1 : Différentes gammes de sciure de bois. ....46

Figure III. 2 : Tamiseuse électrique .....47

Figure III. 3 : série de tamis utilisée pour tamiser la poudre de bois.....47

Figure III. 4 : la quantité de tamisas .....47

Figure III. 5 : étapes de détermination de la masse volumique apparente de la sciure de bois .....48

Figure III. 6 : plâtre utilisé .....49

Figure III. 7 : de ciments utilisés .....49

Figure III. 8 : Malaxage du mélange plâtre-sciure de bois .....52

Figure III. 9 : étapes de coulage des éprouvettes prismatiques. ....52

Figure III. 10 : la masse des différentes éprouvettes à base de plâtre juste après démoulage .....52

Figure III. 11 : Malaxage du mélange ciment-sciure de bois .....54

Figure III. 12 : détermination de l'étalement pour mélanges à l'état frais [ASTM C 124] .....54

Figure III. 13 : Numérotation et conservation des éprouvettes à base de ciment .....56

Figure III. 14 : la masse des différentes éprouvettes à base de ciment juste après démoulage.....56

Figure III. 15 : disposition de flexion 3-points des éprouvettes (4x4x16 cm<sup>3</sup>) .....57

Figure III. 16 : mode de rupture des éprouvettes (4x4x16 cm<sup>3</sup>) à la flexion 3-points .....57

Figure III. 17 : Machine de flexion de laboratoire génie civil .....58

Figure III. 18 : machine de compression .....58

Figure III. 19 : Mode rupture à la compression des éprouvettes .....59

Figure III. 20 : les équipements de ProceqPUNDIT PL-200 .....60

Figure III. 1 : Pundit PL-200 Transmission directe : accès des deux côtés .....61

Figure III. 22 : étalonnage de l'appareille. ....61

Figure III. 2 : .détermination de propagation des ondes ultrasoniques dans le matériau à tester .....61

**Liste des figures du chapitre IV : Présentation des résultats expérimentaux et discussion**

Figure IV. 1 : représentation graphique des différentes masses des composites à base de (plâtre-sciure de bois) en fonction de la déshydratation à (1, 7, 14 et 28 jours) .....64

Figure IV. 2 : Représentation graphique des différentes masses des composites à base de (ciment-sciure de bois) en fonction de la déshydratation à (1, 7, 14 et 28 jours).....64

Figure IV. 3 : Présentation graphique des pertes de masses des composites à base de (plâtre-sciure de bois) en fonction de la déshydratation à (1, 7, 14 et 28 jours). ....65

Figure IV. 4 : Présentation graphique des pertes de masses des composites à base de (ciment-sciure de bois) en fonction de la déshydratation à (1, 7, 14 et 28 jours). ....65

Figure IV. 5 : Histogramme de confrontation masses volumiques apparentes des éprouvettes à base de ciment-sciure de bois à (7, 14 et 28 jours).....66

Figure IV. 6 : Histogramme de confrontation masses volumiques apparentes des éprouvettes à base du plâtre-sciure de bois à (7, 14 et 28 jours). ....66

Figure IV. 7 : Modes de rupture des éprouvettes (4x4x4 cm<sup>3</sup> ) à base du plâtre-sciure de bois à la compression uni-axiale. ....67

Figure IV. 8 : Modes de rupture des éprouvettes (4x4x4 cm<sup>3</sup> ) à base du ciment-sciure de bois à la compression uni-axiale.....68

Figure IV. 9 : Histogramme de confrontation des contraintes de compression des différentes éprouvettes à base du ciment-sciure de bois à (7, 14 et 28 jours). ....68

Figure IV. 10 : Histogramme de confrontation des contraintes de compression des différentes éprouvettes à base du plâtre-sciure de bois à (7, 14 et 28 jours).....69

Figure IV. 11 : Modes de rupture des éprouvettes (4x4x16 cm<sup>3</sup> ) à base du plâtre-sciure de bois à la flexion 3-points. ....69

Figure IV. 12 : Modes de rupture des éprouvettes (4x4x16 cm<sup>3</sup> ) à base du ciment-sciure de bois à la flexion 3-points. ....70

Figure IV. 13 : Présentation graphique de la contrainte de flexion des éprouvettes (4x4x16 cm<sup>3</sup>) à base de (ciment-sciure de bois) .....70

Figure IV. 14 : Présentation graphique de la contrainte de flexion des éprouvettes (4x4x16 cm<sup>3</sup>) à base de (plâtre-sciure de bois) .....70

Figure IV. 15 : Disposition de l'essai ultrasonique cas d'une éprouvette en plâtre .....71

Figure IV. 16 : Représentation graphique des vitesses de propagation ultrasonore dans les composites à base de plâtre-sciure de bois. ....75

Figure IV. 17 : Représentation graphique des vitesses de propagation ultrasonore dans les composites à base de ciment-sciure de bois.....75

**Liste des tableaux du chapitre I :**

Tableau I.1 : Principaux avantages et inconvénient des fibres végétales comme renfort des matériaux composites [25,45].....26

Tableau I.2 : les propriétés mécaniques des fibres naturelles en comparaison avec certaines fibres de renforcement conventionnelles.[39] .....27

Tableau I. 3 : Propriété physico-mécaniques des fibres végétales .....28

**Liste des tableaux du chapitre II :**

Tableau II. 1 :Pourcentage d'absorption des fibres de diss traitées et naturelles.[48] .....31

Tableau II. 2 : Propriétés physiques de la sciure [51]: .....34

Tableau II. 3 : Propriétés des principales fibres utilisées comme renforts, d'après Baley [58] .....36

Tableau II. 4 : Propriétés physiques des fibres végétales.....38

**Liste des tableaux du chapitre III :**

Tableau III. 1 : récapitulatif des masses volumiques apparente de la sciure de bois.....48

Tableau III. 2 : La composition chimique de ciment CEMII/A-L .....50

Tableau III. 3 : les différentes formulations des éprouvettes à base du plâtre.....51

Tableau III. 4 : Formulation des éprouvettes élaborent de coulis de ciment .....53

Tableau III. 5 : Valeurs d'étalement des mortiers à base de scieur de bois .....55

Tableau III.6:taux d'étalement à la table à secousse .....56

**Liste des tableaux du chapitre IV :**

Tableau IV. 1 : Récapitulatif des vitesses de propagation ultrasonore dans les composites à base de plâtre-sciure de bois. ....73

Tableau IV. 2 : Récapitulatif des vitesses de propagation ultrasonore dans les composites à base de ciment-sciure de bois .....7

---

# **Introduction générale et problématiques**

### Introduction Générale

L'enjeu actuel dans le domaine des matériaux consiste à proposer des matériaux performants, biodégradables, recyclables et surtout avec un prix moins prohibitif.

L'utilisation des agro-ressources est une solution alliant performance technique et environnementale. Beaucoup de procédés de développement de nouveaux matériaux innovants sont proposés par des chercheurs pour répondre aux exigences environnementales de plus en plus sévères.

Dans le cadre de ce travail de recherche, nous nous sommes intéressés à réaliser et mener une analyse expérimentale de nouveaux matériaux composites à base de plâtre ou de ciment, renforcés par des paillettes de bois. Plusieurs fractions ont été considérées dans le but d'optimiser la formulation. Ces matériaux seront par la suite considérés dans la réalisation des spécimens prismatiques destinés à la caractérisation physico-mécanique et acoustique.

Le travail de recherche réalisé est structuré en quatre chapitres et est terminé par une conclusion générale et des perspectives :

Le premier et le deuxième chapitre sont dédiés à la présentation d'une synthèse bibliographique très concise sur les différents matériaux composites et les matériaux végétaux utilisés dans ce travail. Les différentes définitions, les caractéristiques mécaniques et les propriétés physiques, leurs avantages, et l'intérêt de leurs utilisations ainsi que les différents domaines d'application sont alors rappelés pour les différents matériaux composites à base d'agro-ressources. Le comportement du béton de bois et des composites est succinctement présenté et analysé. Une étude comparative des isolants thermiques est présentée.

Le troisième chapitre est consacré à la présentation détaillée des étapes d'élaboration des différents spécimens réalisés, à savoir : les matériaux d'étude, la formulation, l'analyse granulométrique, la composition optimisée, le procédé de préparation des éprouvettes, les différentes variantes considérées, la réalisation des éprouvettes et enfin l'acquisition et le mode de chargement considérés dans ce travail.

Le quatrième chapitre, est totalement dédié à la présentation et discussion des résultats obtenus. Tous les résultats expérimentaux obtenus sont présentés dans des tableaux et illustrés par des histogrammes mettant en exergue l'apport en termes de résistance comparativement aux structures de références.

Ce travail est finalisé par une conclusion générale et des perspectives.

# **Chapitre I : Recherche bibliographique sur les Matériaux de nature végétale**

## **I.1. Introduction**

Pour le développement et l'amélioration des caractéristiques spécifiques des matériaux, initialement l'homme utilisait et élaborait des matériaux composites par l'addition de plusieurs matières différentes pour obtenir un matériau avec des meilleures propriétés. Ils existent plusieurs matériaux composites fibreux, notamment à base des fibres de verre et de Carbone, d'aramide, mais ces derniers posent un problème du coût et d'origine d'une matière première non renouvelable, en effet il est primordial de trouver un alternatif pour ces fibres synthétiques par des fibres écologiques, renouvelables, et biodégradables.

## **I.2. Les fibres végétales**

Les fibres végétales sont des matières fibreuses dérivées de la biomasse. Ils peuvent être extraits de fruits, de tiges ou de feuilles de plantes cultivées, d'arbustes et d'herbes. Peut-être filé en fils et en cordes, ils sont tissés, tricotés ou tissés pour rendre les textiles vitaux pour la société.

Les fibres végétales présentent une variabilité très importante selon leur sources et origine. En effet, la taille des filaments végétaux dépend de l'état de maturité et des conditions environnementales pour la croissance des plantes. La variabilité du diamètre peut être très importante, Selon la fibre végétale elle-même [1].

Les fibres végétales présentent des avantages par rapport aux fibres de renforcement traditionnelles (comme les fibres de verre) et ont récemment attiré l'attention des chercheurs pour des raisons environnementales. Par conséquent, au cours des dix dernières années, le développement de composites à fibres végétales a été un sujet d'une attention particulière.

L'utilisation de matériaux de construction renforcés de fibres, en l'occurrence le béton et le mortier, est une technologie de plus en plus utilisée pour améliorer ses propriétés mécaniques, principalement sa résistance à la traction et à la fissuration, et sa malléabilité.

Les environnements chauds et secs (comme notre désert du Sahara) sèchent les matériaux hydrauliques (en particulier le béton et le mortier), qui peuvent provoquer un retrait massif de ces matériaux et des fissures structurelles, En conséquence, les bâtiments en béton de ces zones sont très délicats et très fragiles, le béton armé et mortier fibrés peuvent apporter des solutions techniques pour améliorer leurs propriétés mécaniques.

Les fibres végétales sont hydrophiles car elles sont composées de ligno-cellulose contenant des groupes hydroxyle. Par conséquent, ces fibres ne sont pas compatibles avec les thermoplastiques et ont une faible résistance à l'humidité, ces deux caractéristiques sont utiliser des fibres végétales comme matériaux de renforcement. Ensuite il faut les améliorer afin de ne pas affecter les propriétés mécaniques

La morphologie des fibres végétales peut également être un facteur important pour comprendre le transfert des contraintes à l'interface de la matrice des fibres [2].

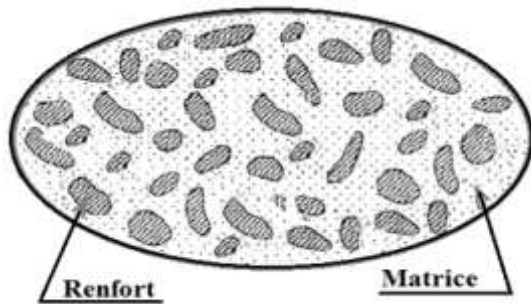
Les fibres végétales présentes de nombreux avantages : des propriétés mécaniques proches de celles des fibres de verre, un recyclage facile (combustion)

## **I.3. Matériaux composites**

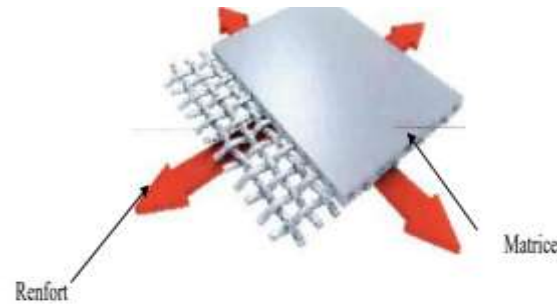
Les matériaux composites sont des matériaux solides hétérogènes et anisotropes, constitués de l'assemblage d'au moins deux matériaux non miscibles et de natures différentes [3], se complètent et permettant d'aboutir à un matériau hétérogène dont l'ensemble des performances est supérieur à celui des composants pris séparément, Ils sont constitués d'une ou plusieurs phases discontinues réparties dans une phase continue. La phase continue et appelée matrice et la phase discontinue, qui présente usuellement des



propriétés mécanique (rigidités et résistances) supérieures à celle de la matrice, est nommée renfort (Figure I.1) [4]



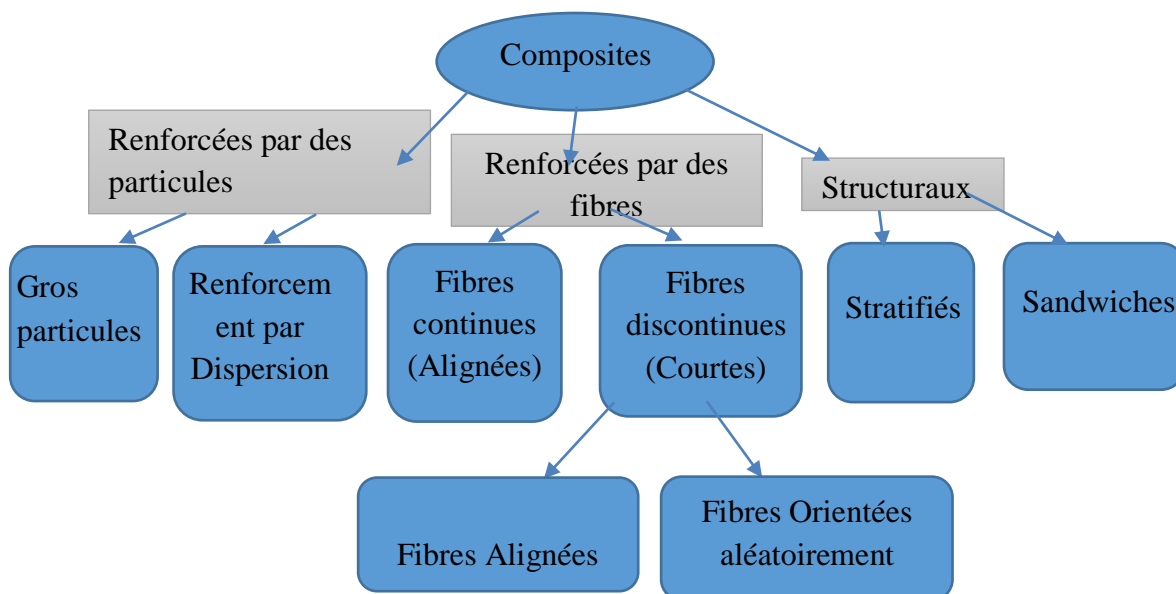
**Figure I. 1:** Matériau composite [4].



**Figure I. 2:**(Les éléments constitutifs d'un matériau composite) [5]

### I.3.1. Caractéristiques d'un matériau composite

Le domaine des composites est très vaste. Ces derniers peuvent être divisés en trois types, la figure (2) donne une présentation schématique des types des matériaux composites.



**Figure I. 3:** Classification schématique des différents types de composites [6]

Beaucoup de facteurs influent sur les propriétés des matériaux composites, ces propriétés :

- Des propriétés, de la nature et de la qualité des matériaux constitutifs.
- Des constituants, de la géométrie et de la distribution du renfort.
- De leur interaction, de l'interface matrice-renfort, etc [ 7]

### I.3. 2.Les composants d'un matériau composite

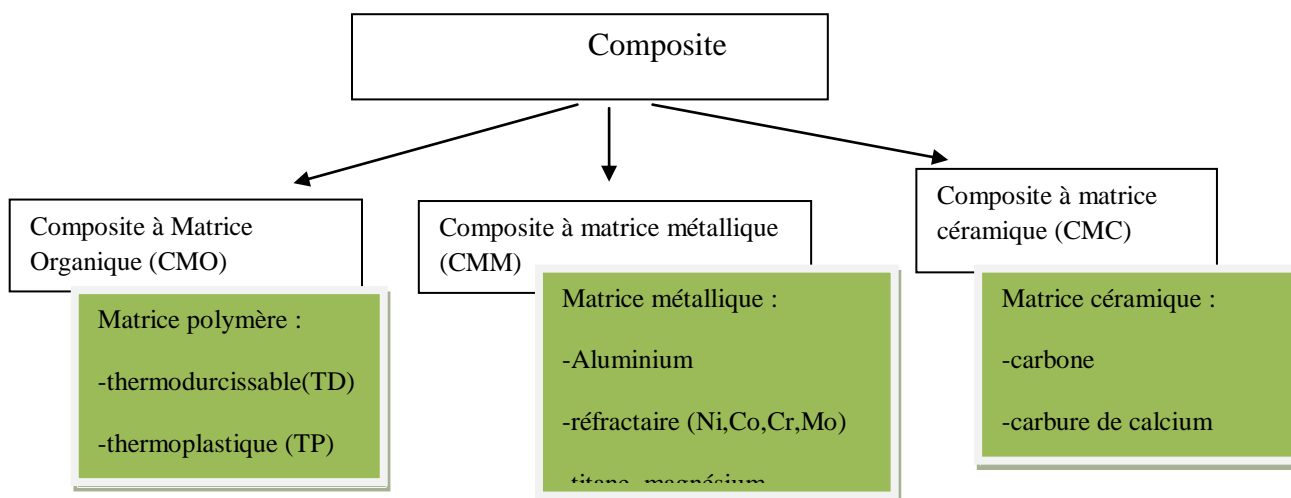
Un matériau composite consiste dans le cas le plus général d'une ou plusieurs phases, discontinus appelée renfort qui assure la tenue mécanique elle répartie dans une phase continue appelée matrice

(protection) qui est généralement une matière plastique (résine thermoplastique ou thermodurcissable) et qui assure la cohésion de la structure et la retransmission des efforts vers le renfort.

### I.3.2.1. La matrice

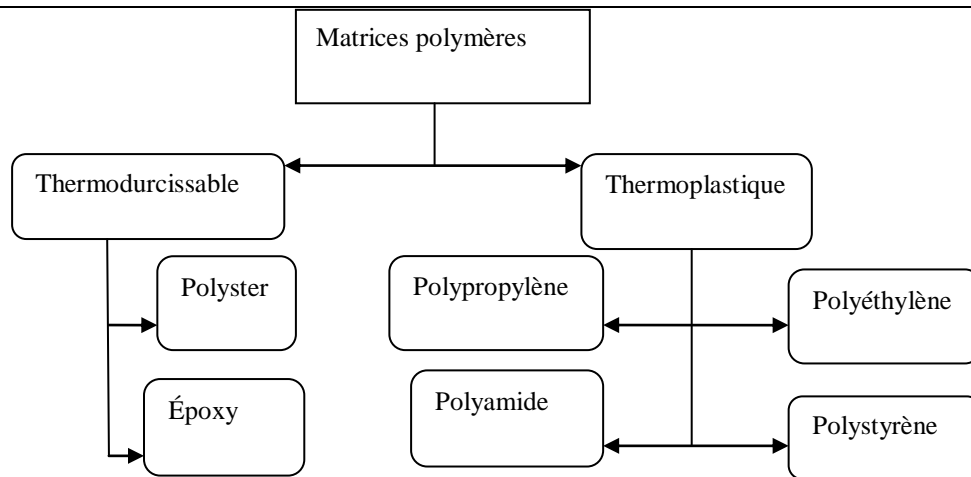
La matrice est l'un des constituants de base des matériaux composites qui revêt trois fonctions principales : la répartition de la charge mécanique sur tout le renfort, la cohésion des fibres pour une meilleure homogénéisation de l'ensemble, Elle est facilement déformable mais assure la protection chimique des fibres et la protection des renforts vis-à-vis du milieu extérieur (chocs mécaniques ou thermiques) Elle permet en outre de donner la forme voulue au produit réalisé. Les matrices peuvent être décomposées en quatre catégories en fonction du besoin industriel (les matrices thermodurcissables, les matrices thermoplastiques, les matrices thermostables et les matrices métalliques et céramiques) [8]

#### I.3.2.1.1. Classification des types de matrices



**Figure I. 4:** Type de matrices [9]

Il existe une grande variété de résines polymères synthétiques généralement réparties en deux grandes catégories



**Figure 1.5:** Types de matrice polymérique

➤ **La matrice thermoplastique :**

Les thermoplastiques se présentent sous forme de chaîne linéaires ou branchées qui ne sont liées entre elles que par des liaisons faibles (Van der Waals ou hydrogène). Il faut les chauffer pour les mettre en forme et les refroidir pour les fixer. Cette opération est réversible. Elles ont des faibles propriétés mécaniques ; un renforcement par l'incorporation de charge leur confère une tenue thermique et mécanique améliorée et une bonne stabilité dimensionnelle [10].

➤ **La matrice thermodurcissable :**

Les matériaux thermodurcissables sont caractérisés par la réticulation des chaînes polymères par des liaisons fortes. Par conséquent, la structure des thermodurcissables est sous la forme de réseaux bi- ou tridimensionnels, Ces matrices se présentent sous forme d'une résine initialement à l'état de liquide visqueux, composée de molécules longues et indépendantes. Ces molécules établissent alors des liaisons. Grâce à des réactions déclenchées le plus souvent par l'action conjointe d'un durcisseur et de la température. Il se forme ainsi une structure solide tridimensionnelle. Les résines polyesters insaturées, les résines de condensation (phénoliques, amioplastes, furaniques) et les résines époxy sont des résines thermodurcissables. Les deux principales résines utilisées sont les polyesters (environ 70%) et les époxydes (25%). Les résines thermodurcissables ont des propriétés mécaniques élevées, on trouve les époxydes possédant de bonnes propriétés thermomécaniques, et une bonne adhésion avec la fibre. Ces résines sont les plus utilisées pour la fabrication de structures aéronautiques.[11]

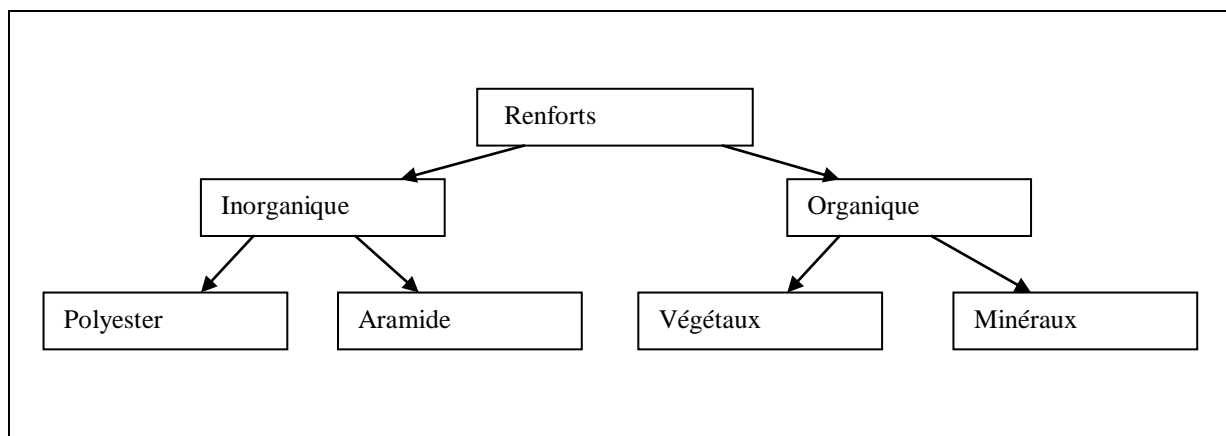
**I.3.3.Les renforts**

Les renforts sont le squelette supportant les efforts mécaniques et permettent d'améliorer les propriétés physico-chimiques des matériaux (la résistance aux acides et aux bases pour le stockage de produits chimiques), ainsi que les propriétés électriques (résistance électrique, conductivité, ...). Et aussi de faciliter la mise en œuvre et réduire le coût de fabrication d'un matériau. Les renforts contribuent à améliorer la résistance mécanique et la rigidité des matériaux composites Ils sont caractérisés par la nature de la fibre, minérale ou organique et l'architecture du renfort [12]

Nous désignerons par « renfort » tout produit susceptible d'améliorer une ou plusieurs propriétés du polymère qui sert de matrice (c'est-à-dire qui enrobe le renfort) [13].

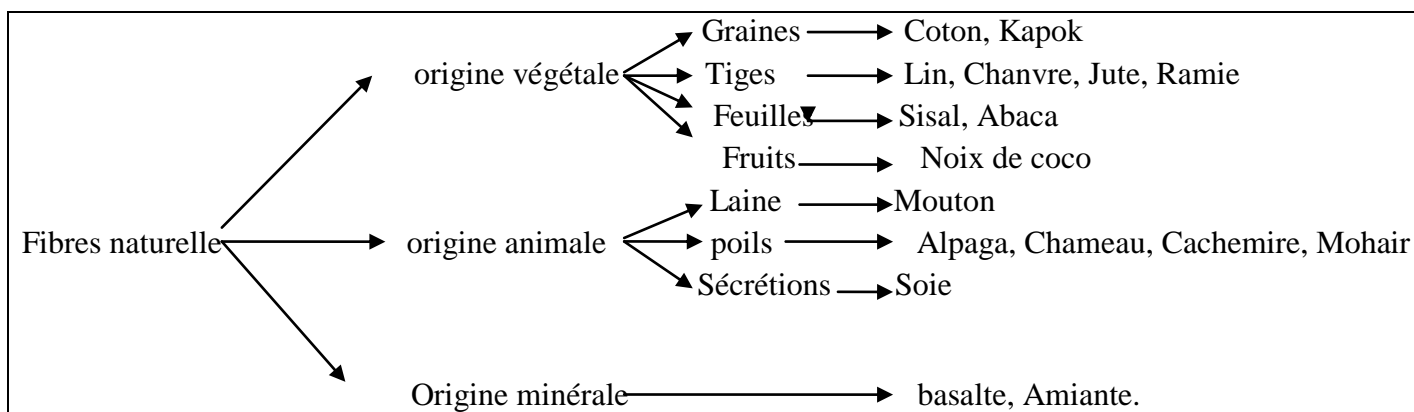
Les renforts (fibres) peuvent être classés selon :

- Leur nature : animale, végétale ou minérale
- Leur forme : courte, longue ou continue.
- Leur disposition : mate ou tissé.



**Figure I.6 :** Type de renforts [14]

- On peut subdiviser les fibres naturelles en trois grands groupes selon leur origine [15]
- **les fibres végétales** qui comprennent les fibres provenant des différentes parties de la plante
- **Les fibres animales** qui proviennent des poils, telle que la toison animale, et des sécrétions telle que la soie
- **Les fibres minérales** (silicatées) sont extraites des ressources minières telle que :
  - tourbe, verre, amiante, basalte, carbone, métaux) ;



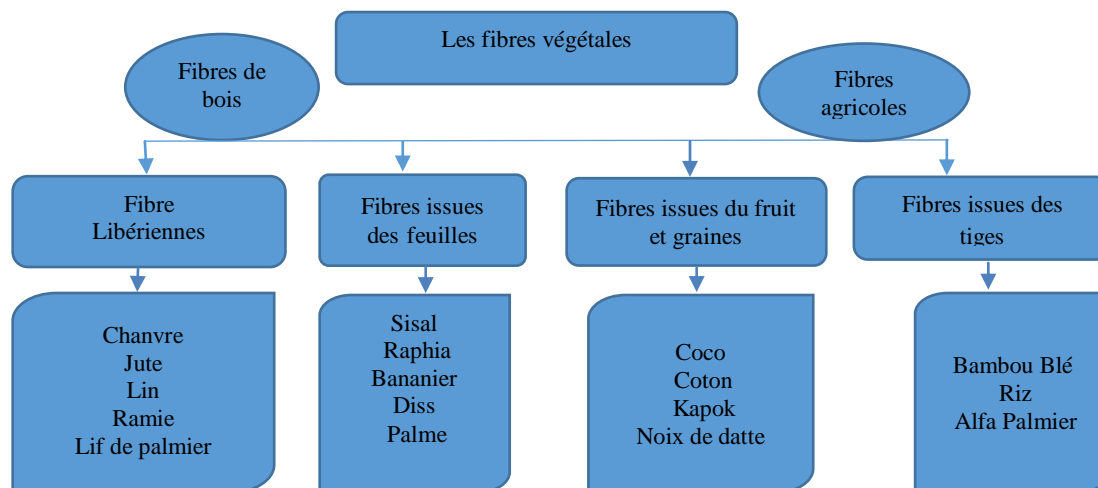
**Figure I.7 :** Classification des fibres naturelles en fonction de leur origine [16]

Le renfort peut être seul au sein d'une matrice (composite homogène) ou associé à un renfort de nature différente (composite hybride). Les fibres possèdent généralement une bonne résistance à la traction mais une résistance faible à la compression.

#### **I.4.Présentation des fibres végétales**

Parmi les fibres végétales les plus utilisées sont les fibres de (chanvre, lin, jute, paille, sisal, palmier dattier et les fibres de coton , sciure de bois , liège ,diss.....)

Il existe une variété de fibres végétales qui peuvent être utilisées comme renfort ou comme charges dans les matériaux composites. Ils sont classés selon leur origine et leur forme.



**Figure I. 8:**Classification des fibres végétales

- D'après la figure (I.8), les fibres se regroupent dans plusieurs types à cause de la différenciation entre eux :
- les fibres végétales peuvent être classées en fibres de tiges, suivant l'organe de la plante dont elles sont issues (Kénafe, jute, lin, ramie), et de feuilles (Sisal, abace, paille de graminée [17])
- les fibres végétales peuvent être groupées en deux catégories suivant leur longueur : Libérienne sont des fibres long, provenant des tiges et d'écorce de tiges de plantes annuelles, issues de feuilles ou de troncs d'arbre sont plus dures et plus rigides à cause de leur richesse en lignine. Et les fibres courtes qui sont associées aux fibres longues [18].
- Suivant la quantité cellulose et hémicellulose et en lignine, on peut distinguer les fibres ligneuses (dures et rigide provenant de matériels ligneux tels que le bois d'œuvre, les résidus de l'industrie du bois, et les fibres non ligneuses (douces, souples, issues de végétaux non ligneux souvent annuels relativement moins riches en lignine tels que le kénafe, le chanvre, le sisal, le jute et le lin) [19].

#### **I.4.1Fibres de jute**

Le jute est un arbuste d'une hauteur de 2 à 4 m, à tige dure et fibreuse d'environ 2 cm de diamètre, se ramifiant au-dessus. Les feuilles sont longs pétioles et des lames triangulaires, de 10 à 15 cm de long et 5 cm de large (figure I.14). Le jute est une plante située en Asie du Sud-Est d'origine. Les principaux pays producteurs sont l'Inde, le Bangladesh et la Chine.

Le jute a une durabilité élevée, il est utilisé pour fabriquer des sacs robustes (pour le charbon de bois, les pommes de terre) et des semelles de paille. La longueur moyenne de la fibre est de 2 mm et la largeur est de 20 µm.



*Figure I.9: la fibre de jute [20.21]*

#### **I.4.2. Fibres de chanvre**

Le cannabis est une plante annuelle qui varie de 1 à 3 mètres de hauteur et pousse dans les régions à climat doux, comme la France, l'Italie ou certains pays d'Europe de l'Est. Il est utilisé dans les textiles, la papeterie et même dans la fabrication de textiles et de cordons. La fibre de chanvre est forcément très demandée en tant que matériau de renforcement pour les composites à matrice thermoplastique en raison de sa rigidité élevée et de sa valeur économique. Ils sont utilisés dans les structures intérieures, les pièces automobiles et les matériaux de construction.



*Figure I.10: Plante de chanvre et différents types de fibres du chanvre [22]*



### **I.4.3. Fibres de sisal**

Le sisal est le nom de la fibre qui est extraite des feuilles d'une plante appelée Agave compose de grandes rosettes de grandes feuilles de section triangulaire de 2 m de long (Figure). La fibre provient à l'origine de l'est du Mexique et était utilisée pour fabriquer des cordes, des matières premières et des tapis.



*Figure I.11: Le sisal [23]*

### **I.4.4. Fibres d'Alfa**

Alfa est une plante herbacée vivace typiquement méditerranéenne qui pousse en touffes. Elle mesure environ 1 à 1,20 m de haut, formant ainsi un large réseau d'eau souterraine. Elle pousse spontanément surtout dans les environnements arides et semi-arides, elle borde le désert, où l'Alfa s'est arrêté (Figure II.5). La fibre alfa est généralement utilisée pour fabriquer du papier de haute qualité, mais elle est également utilisée pour fabriquer des cordes, des pantoufles, des tissus originaux, des tapis et des paniers. Des chaussures en toile, Tissus rugueux.



*Figure I.12: Images de la plante d'Alfa [24]*

### **I.4.5. Fibres de lin**

Le lin est une plante annuelle cultivée dans les régions tempérées avec une hauteur de tige de 0,6 à 1,20 m et un diamètre de 1 à 3 mm, C'est une plante largement cultivée dans le monde. L'Inde et l'Amérique du Nord sont les plus grands producteurs de graines de lin, Trouvé aussi dans une grotte en Géorgie, Asie centrale et Egypte, Utilisées dans la fabrication d'huiles, de cosmétiques, de médicaments, de peintures,...etc. Il est exprimé comme une seule tige peut atteindre de 80 à 100 feuilles simples sur la tige.

La fibre de lin est parmi l'une des fibres naturelles utilisée comme renfort dans les composites à matrice thermoplastiques pour les structures internes dans l'industrie automobile. En 1941, ces composites

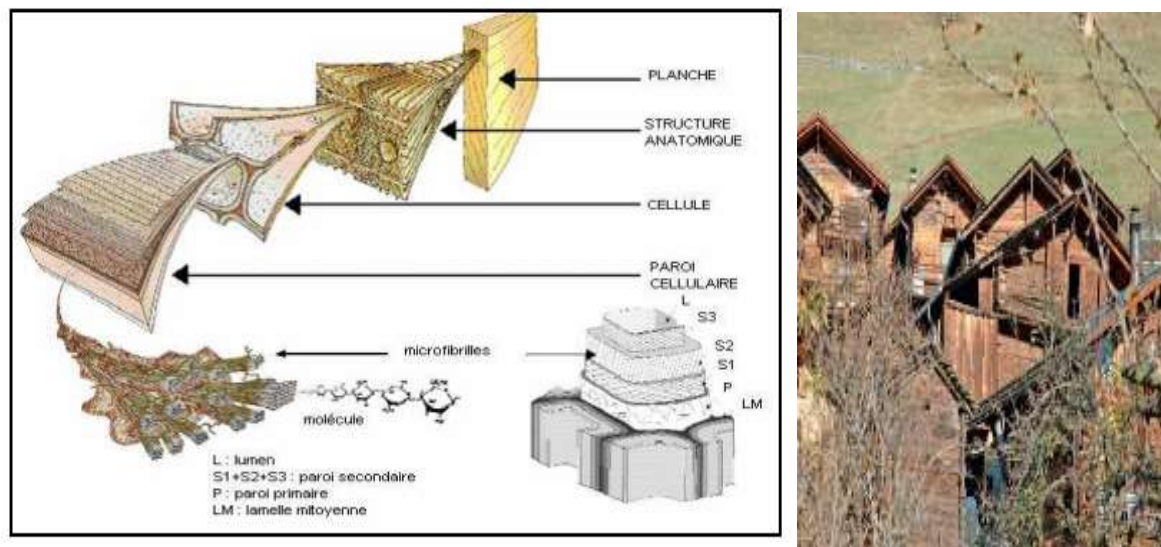
ont été utilisés pour fabriquer les carrosseries de voitures Henry Ford, pour avoir une résistance 10 fois plus élevée que l'acier sous l'impact [21].



**Figure I. 13:**Fibre de lin [25]

#### **I.4.6. Les fibres de bois**

Le bois est l'un des matériaux les plus utilisés dans les différents domaines, tel que la menuiserie, domaine de construction des charpentes et aussi comme une source d'énergie (chaleur). L'utilisation de ce dernier introduire des déchets, qui peuvent être recyclable (sciure, farine...) pour réduire le coût en raison de l'augmentation du coût des matériaux de construction. Les sciures de bois Proviennent du broyage des arbres tels que les bambous ou les roseaux. Elles sont généralement courtes.



**Figure I. 14:**Structure du bois (observations multi échelles) [26]

#### **I.4.7.Le DISS**

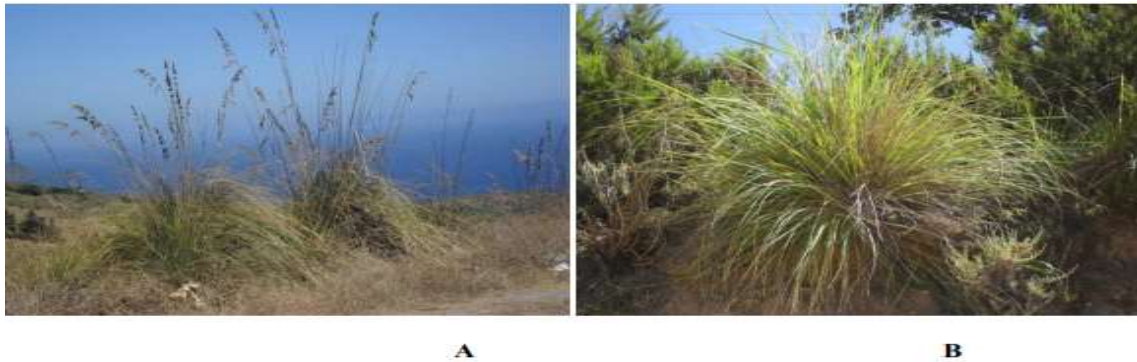
Connu sous le nom scientifique «*Ampelodesmamauritanica*». C'est une plante qui appartient à la famille des poacées. Se trouve dans l'Afrique-du-Nord méditerranéenne et les régions sèches de la Grèce à l'Espagne, en France, on la trouve dans le département des Alf –martin. La plante de DISS est très répandue dans toute la cote algérienne, elle fleurit entre avril et juin; les feuilles sont résistantes longues jusqu'à 1 mètre jusqu'à 3 mètre et large de 7 mm, extrêmement rude c'est un matériau très fibreux.

Cette plante était utilisée auparavant dans la réalisation des habitations anciennes de ces régions en raison de ses qualités mécaniques et hydriques. Elle est très résistante à la traction de l'ordre de 100 MPa, son utilisation est limitée à la confection des couffins, à lier les branches de vignes ou à la confection des



balais cantonniers. La plante est utilisée aussi comme tressage et sert comme matériel pour fabrication de papier.et des tapis.

En outre des études récentes ont montré qu'elle peut être utilisée comme additif pour renforcer le béton. Elle est aussi utilisée par les éleveurs de batails comme antiparasitaire et en médecine traditionnelle comme antidiabétique.



**Figure I.15:***Ampelodesmamauritanica (DISS) : A- fleurissante, B- non fleurissante [27].*

#### **I.4.8.Le liège**

Le liège est un matériau vivant et naturel, provenant d'une variété de chêne-liège qui reconstruit son écorce dès qu'elle est prélevée chaque année. L'arbre produit une épaisseur de liège variant de 1 à 10 mm selon l'âge déjà acquis par l'écorce elle-même. Chaque accroissement annuel est séparé du précédent par une ligne brune bien déterminée.

Le liège a été utilisé pendant l'Antiquité, pour plusieurs applications. C'est un matériau léger, élastique, flexible et imperméable aux gaz et liquides, impérissable, bon isolateur électrique et thermique, isolateur phonique et diélectrique [28]



**Figure I. 16:***chaîne -liège yakouren*

### **I.5. Granulats végétaux**

Les granulats végétaux correspondent à la partie boisée de la tige. Ils se présentent généralement sous la forme de copeaux et ont une visée différente de celle des fibres végétales. Ils n'apportent pas de résistance mécanique mais permettent de créer un réseau poreux interconnecté conséquent au sein du matériau [29]. Leur granulométrie (millimétrique à centimétrique) varie en fonction de la plante défibrée, de sa qualité ou encore du processus de broyage utilisé [30]. Associés à un liant minéral, les granulats d'origine végétale permettent de confectionner des bétons légers isolants caractérisés par de très bonnes performances hygrothermiques et acoustiques [31]. Les agrobétons à base de chènevotte (correspondant à la partie centrale de la tige du chanvre) connaissent un essor grandissant. Le nombre d'études portant sur ces bétons communément appelés « Bétons de Chanvre » en témoigne. On peut notamment citer les travaux de thèse de Cerezo [32], Nguyen [33], Evrard [34], Tran Le [35], Nozahic [31] ou encore Chamoin [36]. D'autres granulats d'origine végétale (tige de tournesol [31], copeaux de bois [37], [38]) ont été associés à des liants minéraux pour diversifier les ressources lignocellulosiques ou développer des « agrobétons locaux ». Les propriétés thermiques et mécaniques obtenues sur des agrobétons à base de granulats de tournesol sont comparées avec celles des bétons de chanvre dans les travaux de Nozahic [31].



*Figure I. 17:*Copeau de bois et chènevotte

### **I.6. Structure de la fibre végétale**

La fibre végétale elle-même est un matériau composite. Le renfort est constitué par Couche de microfibrilles de cellulose partiellement cristalline. Ce dernier est enrobé d'une Matrice polysaccharidique amorphe apparentée (hémicellulose et pectine) Covalent avec la lignine par liaison hydrogène [39]

La fibre végétale se caractérise par sa composition chimique qui affecte énormément sur Leur durabilité, en particulier dans les milieux alcalins. La composition chimique de la fibre végétale se compose de plusieurs composants ligno-celluloses et particules organiques

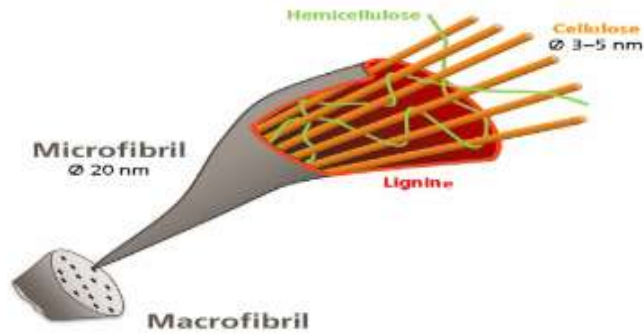


Figure I. 18: Structure schématique d'une fibre végétale [40]

### I.7 .Avantages et inconvénients des fibres végétales

Les fibres ligno-cellulosiques présentent un avantage par rapport aux fibres synthétiques car elles forment des boucles au lieu de se casser pendant le traitement et la fabrication. De plus, la cellulose a une section transversale ovale aplatie, ce qui augmente le transfert de charge en affichant un format d'image efficace et supérieur [41]

Les fibres naturelles sont des matériaux bio-composites produits dans l'agriculture, qui présentent des avantages qui favorisent leur utilisation dans plusieurs domaines d'application, mais représentent aussi des inconvénients qui limitent leur utilisation, le tableau suivant résume les principaux avantages et les inconvénients des fibres végétales :

**Tableau I.1** : Principaux avantages et inconvénient des fibres végétales comme renfort des matériaux composites [25,45].

Avantages	Inconvénients
Ressource renouvelable et biodégradable (pour l'environnement)	Biodégradabilité (pour le matériau)
Faible coût	Changements dimensionnels (expansion / contraction).
Propriétés mécaniques spécifiques importantes (résistance et rigidité)	Faible durabilité à long terme.
Très bonne capacité d'isolation thermique et acoustique	Forte capacité d'absorption d'eau et d'humidité
Bon régulateur de l'humidité interne dans le bâtiment	Compatibilité entre la fibre et la matrice
Sa demande pas de l'énergie pour la production	Pose le problème de la gestion de stocks. surtout pour des applications industrielles
La légèreté	Faibles tenue à la température

### I.8. Différentes propriétés des fibres végétales

#### I.8.1. Propriétés mécaniques de la fibre végétale

Les fibres végétales sont dotées par une faible masse volumique (**1,2 à 1,5 g/cm<sup>3</sup>**) donne à ces matériaux des propriétés mécaniques spécifiques intéressantes, Les fibres longues ont des contraintes en traction plus faibles que les fibres courtes, par ce que les fibres longues ont de plus grandes probabilités de

contenir des défauts de formation. Les fibres végétales possédaient des propriétés mécaniques comparables aux fibres de verre traditionnellement utilisées

**Le tableau I.2** :ci-dessous présente les propriétés mécaniques des fibres naturelles en comparaison avec certaines fibres de renforcement conventionnelles.

**Tableau I.2** : les propriétés mécaniques des fibres naturelles en comparaison avec certaines fibres de renforcement conventionnelles [39]

fibres	densité	Allongement(%)	Résistance à la traction (Mpa)	Module de young (Gpa)
Coton	1.5-1.6	7.8-8.0	287-597	5.5-12.6
Jute	1.3	1.5-1.8	393-773	26.5
Lin	1.5	2.7-3.2	345-1035	27.6
Chanvre	-	1.6	690	-
Ramie	-	3.6-3.8	400-938	61.4-128
Sisal	1.5	2.0-2.5	511-635	6.4-22.0
Coco	1.2	30.0	175	4.0-6.0
Verre E	2.5	2.5	20000-3500	70.0
Verre S	2.5	2.8	4570	86.0
Aramide	1.4	3.3-3.7	3000-3150	63.0-67.0
carbone	1.4	1.4-1.8	4000	230.0-240.0

### **I.8.2. Propriétés physico-mécaniques des fibres végétales**

Les fibres végétales sont considérées comme de bons renforts pour les matrices thermoplastiques ou thermodurcissables à cause de leur résistance relativement grande et leur faible densité, Certaines caractéristiques des fibres de Chanvre et des fibres de Lin atteignent des valeurs très proches de celles des fibres de verre "E" (Tableau I.3) [18, 42]

Tableau I.3 : Propriétés physico-mécaniques des fibres végétales comparées aux renforts synthétiques [43,44].

**Tableau I. 3 :** Propriété physico-mécaniques des fibres végétales :

fibres	Masse volumique( $g/cm^3$ )	Résistance (Mpa)	Module de Young (Gpa)	Allongement(%)
Lin	1.4	88-1500	60-80	1.2-1.6
Chanvre	1.48	550-900	70	1.6
Jute	1.46	400-800	10-30	1.8
Ramie	1.5	500	44	2
Coir	1.25	220	6	15-25
Sisal	1.33	600-700	38	2-3
Abaca	1.5	980	-	-
Cotton	1.51	400	12	3-10
Kenaf (bast)	1.2	295	-	2.7-6.9
Banana	1.35	355	33.8	53
Coco	1.2	175	4.0-6.0	30.0
Verre -E	2.5	2000-3500	70	2.5
Verre – S	2.5	4570	86.0	2.8
Aramide	1.4	3000-3150	63.0-67.0	3.3-3.7

### **I.8 .3 . Utilisations des fibres végétales**

L'utilisation des fibres végétales est croissante dans les secteurs du bâtiment, des transports et des loisirs. Elles peuvent être utilisées seules comme la ouate de cellulose ou la laine de chanvre qui servent d'isolants dans le bâtiment. Ou alors, elles peuvent être utilisées en association avec un matériau polymère formant ainsi un matériau composite à base des fibres végétales. Dans ce cas, le but premier recherché n'est plus le caractère isolant de la fibre mais les propriétés mécaniques spécifiques liées au renfort (les fibres). Ce type d'utilisation se généralise dans les transports. La consommation d'un véhicule étant directement liée à sa masse, il est particulièrement intéressant de réduire la masse d'un véhicule afin de réduire dégagements de polluants dans l'environnement et de diminuer le cout pour le consommateur. Pour ce type particulier d'application, lorsque les fibres (matériaux hydrophiles) sont associées à un matériau polymère (souvent hydrophobes), elles subissent généralement un traitement en vue d'améliorer la compatibilité entre les deux [45].

### **I.9.Cotes économique d'utilisation des fibres végétales**

Les végétaux se renouvellent selon la saison et par conséquent assurent une ressource abondante sachant que les autres ressources (charbon, pétrole, gaz) seront épuisées d'ici quelques décennies

## **I.10.Conclusion**

Cette partie de la recherche bibliographique nous a permis de mettre en évidence les différents types de granulats et fibres à base végétale et la présentation de leurs principales propriétés spécifiques, dont nous allons exploiter dans le domaine de la construction.

# Chapitre II : Revue de littérature sur les composites Renforcés de granulats légers de nature végétale

## **II.1 : Introduction**

Avec le développement des matériaux, de nombreuses technologies font appel à des nouveaux matériaux composites qui ne se basent pas sur les matériaux traditionnels comme les minéraux, les métaux, les céramiques et les polymères. Les chercheurs cherchaient des alternatives pour ces matériaux traditionnels, pour produire des matériaux composites légers, robustes, rigides et capables de résister aux chocs.

Actuellement, nous trouvons des intérêts dans l'utilisation de matériaux composites des constituants d'origine naturelle tels que les végétaux (*le bois, la paille, le chanvre, le lin, la terre...*), la brique de terre cuite, la laine de mouton et de nouvelles solutions alternatives (on parle d'Éco-matériaux)

## **II.2 : Matériaux composites renforcés par des fibres végétales**

Les différents types de matériaux composites se définissent en fonction de la nature de la matrice qui pourra être de type organique, métallique ou céramique. Actuellement les agro-ressources sont employés dans le domaine de la construction avec les matrices usuelles, comme «*le ciment, le plâtre, le mortier, les résines...*». Ainsi que les propriétés mécaniques des matériaux composites sont influencées principalement par l'adhérence entre la matrice et les fibres ; et l'utilisation des renforts pour l'élaboration de matériaux composites impose de bonnes connaissances des propriétés physiques et chimiques de ces matériaux.

### **II.2.1 : Matrice polymère à base des fibres végétales**

Très tôt l'utilisation des fibres végétales existe dans l'histoire, Les blocs de terre crue renforcée par la paille ou l'incorporation de crin de cheval aux mortiers d'enduit et de plâtre sont des exemples remontant à plusieurs milliers d'années pourtant. [46]

Depuis les années 1980, de nombreuses études se sont concentrées sur les composite bio-fibres (telles que les fibres végétales) et en polymères. L'existence de différentes dimensions des fibres végétales (courte, longue, tissu, mat) permettre au chercheur d'agrandir le domaine de recherche sur ces fibres et leur domaine d'utilisation.

Les fibres végétales peuvent être associées à différents types de matrice, tels que des polymères thermoplastiques ou thermodurcissables, c'est pour cela plusieurs chercheurs ont basé sur ce domaine pour améliorer les caractéristiques physiques et chimiques des composites à base des fibres végétales.

De nos jours, un grand nombre de matériaux techniques (matrices céramiques, métalliques ou organiques) incorporent des fibres pour améliorer les propriétés des matériaux. L'intérêt du secteur industriel pour les matériaux de construction renforcés de fibres ne cesse d'augmenter du fait du nombre conséquent de recherches en cours sur cette thématique [47].

MERZOUND Mouloud \* et HABITA Mohamed Fouzi(2008) ont réalisé une élaboration d'une patte cimentaire type CPA CEMI 52.5 (NF P 15-301) à base des fibres de diss naturel, séchées à l'étuve, et aussi fibres traitées thermiquement à l'eau bouillante, puis séchées à l'étuve.

**Tableau II. 1 :** Pourcentage d'absorption des fibres de diss traitées et naturelles.[48]

Fibres végétales	% d'absorption en eau	Masse volumique [grammes/litres]
Non traitées et séchées	92. 38	50.3
Traitées à l'eau bouillie	90. 00	37.5



Dans les formulations adoptées, nous avons fixé le rapport diss/ciment égal à 4.0 (en volume), en faisant varier le rapport Eau/Ciment en fonction du pourcentage d'absorption en eau des fibres végétales traitées ou non. Lors de la confection des éprouvettes de diss non bouilli, nous avons constaté pour les composites un très grand retard de prise probablement dû à la présence d'essences extraites lors de l'ébullition des fibres naturelles. Dans cette partie du travail nous avons donc seulement utilisé du diss bouilli. Différents rapports eau/ciment soit 0.55, 0.6, 0.7, 0.8 et 0.9 ont été considérés. La formulation a été optimisée sur la base de performances mécaniques. L'évolution des résistances mécaniques avec le rapport E / C est donnée dans la figure II.1.

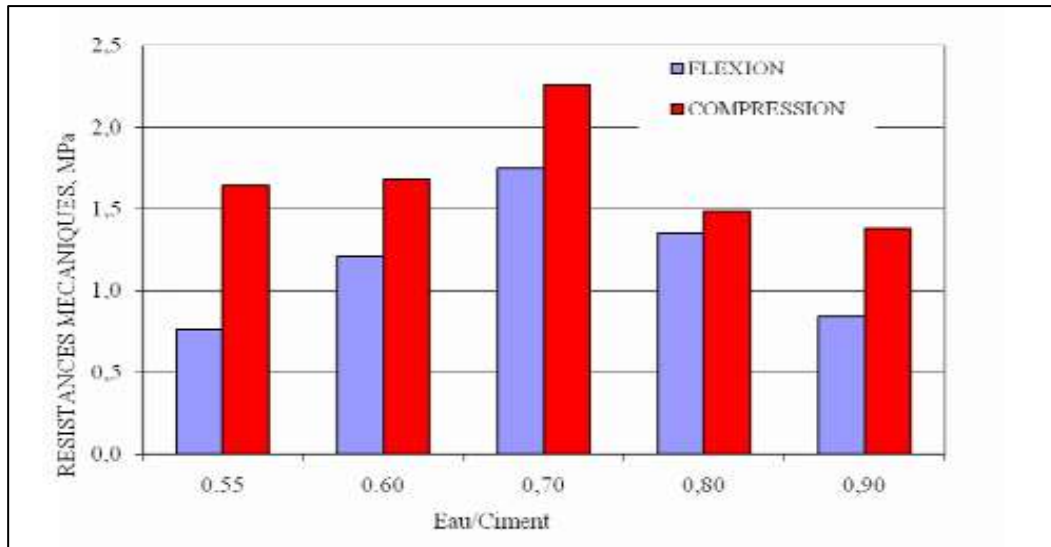


Figure II. 1 : Résistances à la flexion et à la compression en fonction du rapport Eau/Ciment pour différentes formulations.

Pour les formulations correspondantes à  $E/C = 0.8$  et  $0.9$ , l'auteur a constaté lors du passage des éprouvettes à la table à choc une perte considérable de laitance, ce qui conduit à une erreur sur le rapport fibres/ciment. Pour les rapports  $E/C$  en dessous de  $0.8$ , les fissures de traction par flexion au milieu de l'éprouvette n'ont pu avoir lieu qu'après le troisième chargement, et la rupture finale n'a pu avoir lieu qu'après le cinquième chargement. Pour la suite de nos essais expérimentaux, nous avons préféré adopter pour le besoin de nos objectifs la formulation  $4 : 1 : 0.7$ , qui donne des résistances intéressantes, et des comportements plus ductiles que pour les autres formulations [48].

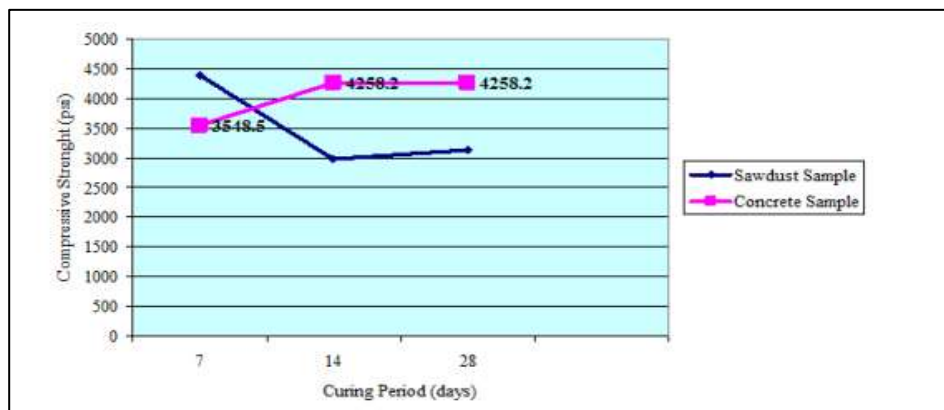


Figure II. 2 : Comparaisons de la résistance de compression béton de bois et le béton témoin

Après chaque essai, les deux échantillons de **béton standard** et de **sciure-ciment-gravier** ont été comparés. Les caractéristiques physiques ont été observées et répertoriées, y compris la texture, la couleur et les types de défaillance. La différence de propriété de texture présentait des différences uniques. L'expérience décrit l'échantillon de la sciure de bois ressemble à des panneaux de construction, mais conserve sa rigidité du béton. La couleur a également changé, affichant une texture de couleur marron clair qui ressemblait à du papier recyclé, mais ce n'est pas le cas. La description de l'échec a cependant présenté un résultat inattendu. Au lieu de se briser comme du béton normal, les échantillons de la sciure de bois ont tendance à rester ensemble comme des troncs d'arbres ou des pieux en bois conduits par un conducteur de pieu. Une inspection plus approfondie du phénomène a révélé que de minuscules morceaux de particules de sciure de bois maintenaient le corps qui s'effondrait intact, empêchant une défaillance totale. [49]

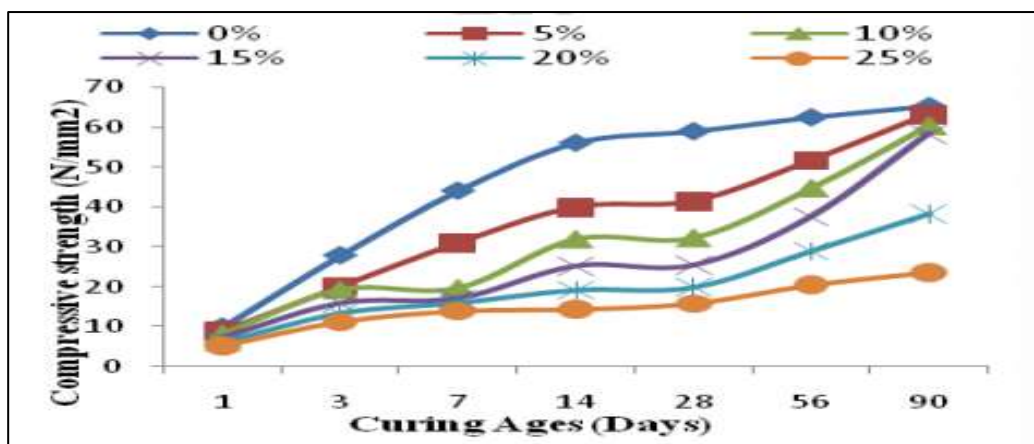


Figure II. 3 : Résistance à la compression du mortier de ciment mélangé SDA

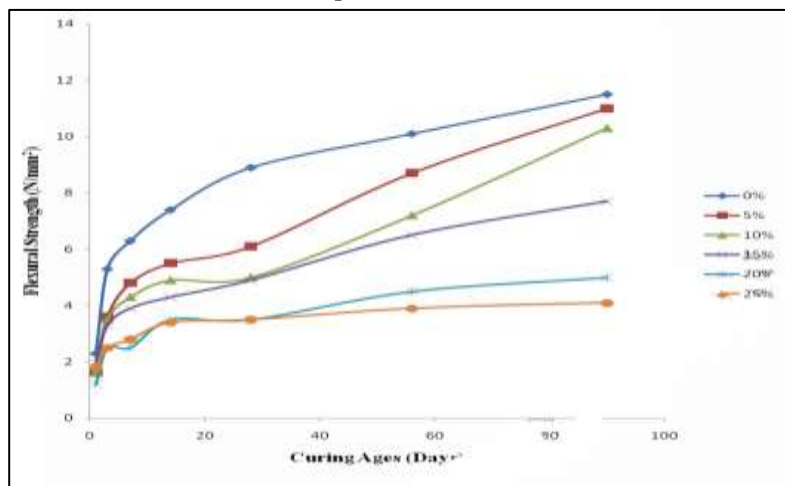


Figure II. 4 : Résistance à la flexion du mortier de ciment mélangé SDA

La figure III.4 montre le développement de la résistance à la flexion en fonction de l'âge pour les différents remplacements de **SDA**. La résistance à la flexion des échantillons augmente avec l'âge. Aux premiers âges de durcissement (*1, 3 et 7 jours*), la résistance à la flexion diminue avec l'augmentation de la teneur en **SDA**. [50]

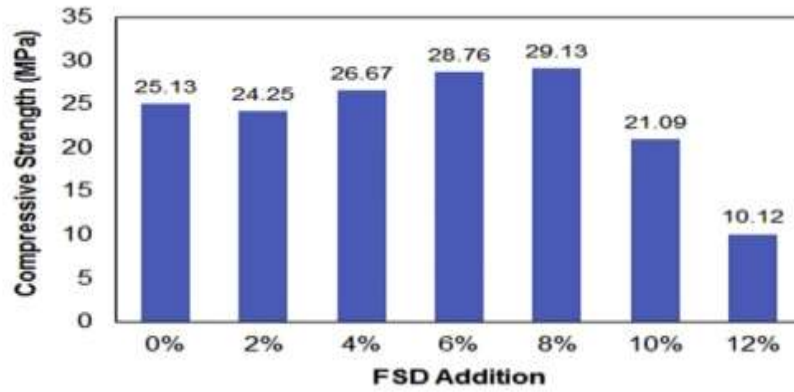


Figure II. 5 : Résistances moyennes à la compression d'échantillons de béton perméables avec une quantité variable de fine sciure de bois

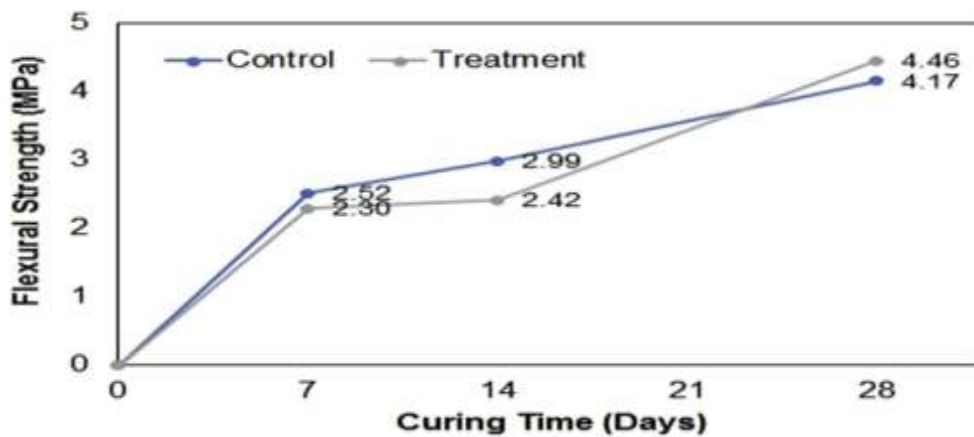


Figure II. 6 : Résistance à la flexion du PC avec du charbon fly cendres et quantité optimale de fine sciure à différents temps de séchage.

Tableau II. 2 : Propriétés physiques de la sciure [51]:

Propriétés	Sciure de bois
Gravité spécifique	2.12
Teneur en humidité (%)	19,5
Masse volumique apparente ( $kg/m^3$ )	295
Taille moyenne des particules ( $\mu m$ )	590

### II.2.2. Compatibilité des fibres végétales avec le ciment

Un aspect important des composites de *fibres végétales-ciment* est la compatibilité chimique et physique de la fibre végétale avec le ciment. Il est bien compris que l'ajout de fibres végétales à la matrice de ciment augmente les temps de prise. L'hémicellulose, l'amide, les tanins et les sucres contenus dans les fibres sont en partie responsables de ces retards de prise.

L'eau contient une grande alcalinité qui influe et affaiblit les fibres de cellulose, qui rend la ténacité de composite faible. [52][53]

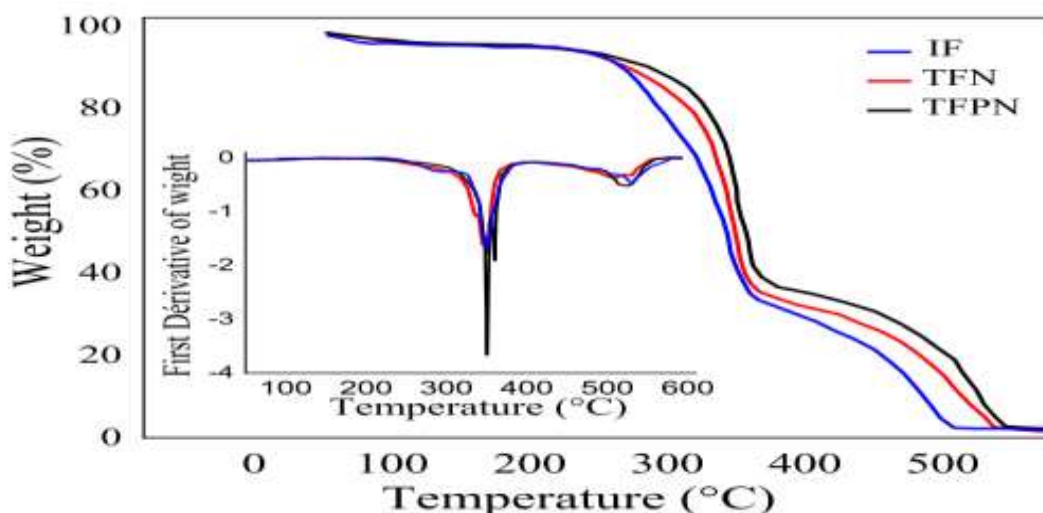
### II.3 : Interface fibre-matrice notion d'adhésion

Le concept d'adhésion ne peut être séparé de la nature de la surface impliquée, ces dernières ont des propriétés qui les rendent plus ou moins idéal. L'adhésion d'interface fibre-matrice est un phénomène qui influe sur les propriétés des matériaux composites, tous les phénomènes complexes qui sont dus à l'interaction de deux matériaux différents, ont positionné dans ces interfaces, qui doivent résister aux contraintes mécaniques et physiques.

Pour améliorer cette adhésion fibre-matrice il faut passer par un traitement physico-chimique, le but de ces modifications est l'amélioration de l'adhésion par la création de liaisons qui n'existaient pas au paravent. La surface est donc au cœur de l'action et subit des modifications [54][ 55]

#### II.3.1 : les propriétés physiques des matériaux composites à base des agro-ressources

Plusieurs études ont porté à la recherche d'influence des fibres végétales sur les propriétés physique d'un matériau, B. Bahja une, b , \* , A. Elouafi c , A. Tizliouine une , LH Omari c (2020) Ont étudié l'effet des fibres de sisal incorporées dans le mortier de ciment, Après les différents traitements, les résultats de la microscopie électronique à balayage ont montré des changements morphologiques de la surface externe de la fibre. La diffraction des rayons X a révélé que les fibres traitées ont un indice de cristallinité plus élevé que les fibres non traitées. La variation du spectre en spectroscopie FTIR était cohérente avec les résultats précédents observés dans les analyses XRD et SEM. Enfin, l'ATG de la fibre de sisal a également montré que le traitement de la fibre augmentait sa résistance thermique. En termes de propriétés mécaniques et physiques, la densité apparente de mortier simple (MS) est 2337 kg / m<sup>3</sup> et la valeur 2230 kg / m<sup>3</sup> pour le mortier contenant les fibres (MF) , l'addition de 4% de fibres de sisal en masse de ciment a conduit à une diminution de sa densité et une augmentation de sa porosité..[55]



**Figure II. 7 :** Courbes de thermogramme ATG et DTG de fibre de sisal naturel (IF), traitée avec NaOH 1% (TFN), et traitée avec NaOH 1% et immergée dans l'huile de paraffine (TFPN).[55]

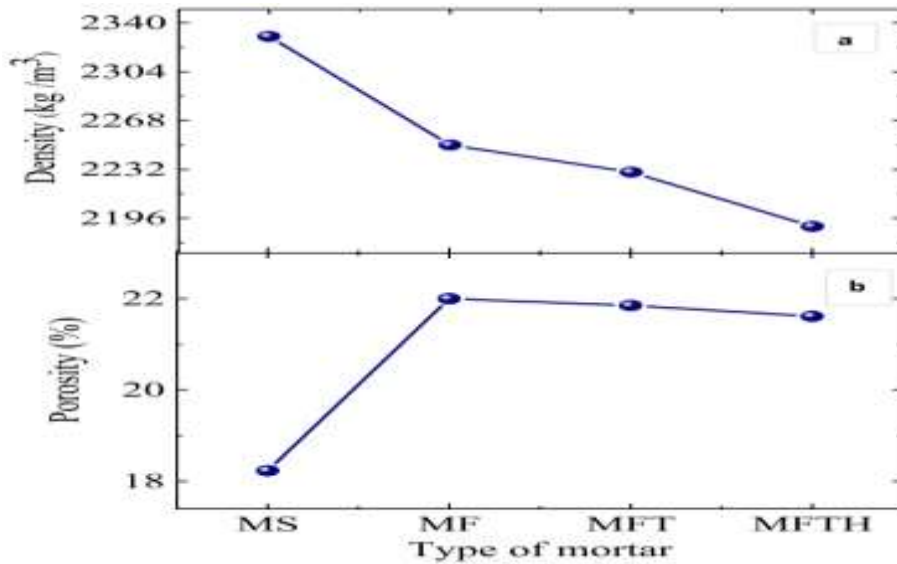


Figure II. 8 : ( a) densité apparente et ( b) porosité de différents types de mortier.[55]

### II.3.2. Propriétés mécaniques

Les fibres synthétiques posent un problème de coût ce qui a obligé les chercheurs et les industriels d'intéresser aux fibres naturelles comme moyenne économique, et comme les fibres naturelles en presque les mêmes propriétés que les fibres synthétiques (le verre) [56].

Cependant, leur caractère naturel leur confère beaucoup de variabilité entre les plantes d'une même plantation explique en partie Les informations ne sont pas toujours cohérentes avec la littérature. Cette spécificité a été proposée Preuve sur la composition du bois présentée par Michell [57] en 1989. Le module de Young maximal de 250 GPa, obtenu de façon théorique pour les cristallites (c'est à dire le composant du bois ayant subi le plus haut niveau d'extraction), est nettement supérieur au module de 70 GPa des micro-fibrilles de bois, lui-même supérieur au module de 10 GPa du bois.

Tableau II. 3 :Propriétés des principales fibres utilisées comme renforts, d'après Baley [58]

	fibre	E(Gpa)	$\alpha_r$ (%)	$\sigma_m$ (Mpa)	Densité
Fibres synthétiques	Verre E	72-73	3-4.6	2000-3400	2.54
	Carbone	230-825	0.3-1.5	2350-3530	1.7-2
	Aramide	124	2.9	3620	1.44
Fibres végétales	Lin	12-85	1-4	600-2000	1.54
	Chanvre	35	1.6	389	1.07
	Jute	26.5	1.5-1.8	393-377	1.44
	Coton	5.5-12.6	7-8	287-597	1.5
	Noix de coco	4-6	15-40	131-175	1.15
Fibres animales	Ver à soie	5-16	15-18	200-600	-
	Araignée	7	30	600	-

La pâte de ciment et le plâtre sont des matrices fragiles à la flexion, Savastano, P.G. Warden et R.S.P. Coutts ont fait de modification d'ajouter à la pâte de ciment les fibres pour améliorer la résistance à la flexion.

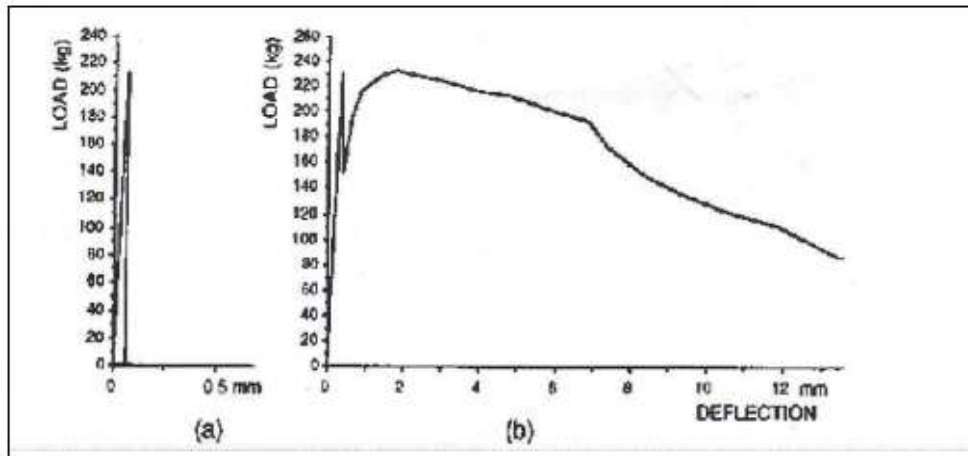


Figure II. 9 : Représentation schématique du comportement en flexion trois points :(a) gypse pur (b) composite gypse-fibre de sisal. [59]

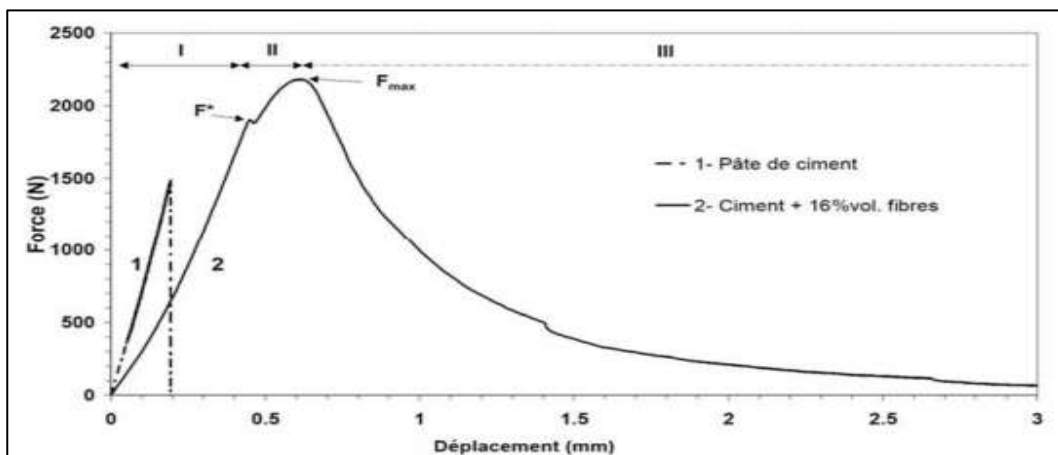


Figure II. 10 : Courbe de comportement d'un échantillon de pâte de ciment et d'un composite ciment / fibres végétales en flexion[60]

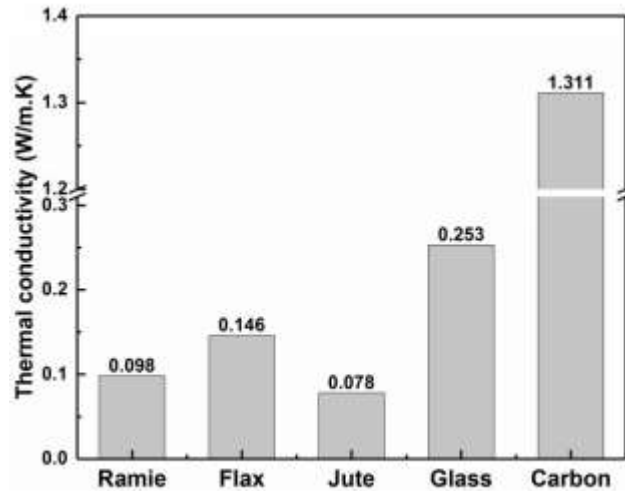
L'auteur distingue trois zones dans le comportement du composite bio-fibré :

- **Phase I** : Comportement quasi-linéaire proche de celui de la pâte de ciment seule. Dans cette phase les efforts sont principalement supportés par la matrice.
- **Phase II** : Apparition de la première fissure dans la matrice à partir de  $F^*$ . Ensuite, les efforts sont transmis aux fibres qui supportent la charge. D'après Sedan, les fibres limitent également la propagation de la fissure par un effet de pontage.
- **Phase III** : A partir de  $F_{max}$ , la charge diminue de façon contrôlée contrairement à la pâte de ciment qui rompt brutalement. L'auteur associe cette phase à une rupture progressive des interfaces fibre/matrice, suivie du déchaussement des fibres.

### III.3.3. : les propriétés d'isolation thermique et acoustiques des matériaux composites à base des agro-ressources.

L'isolation thermique des matériaux de construction peut jouer un rôle essentiel dans la réduction de la consommation d'énergie. L'utilisation de matériaux isolants efficaces peut aider à économiser de l'énergie en minimisant les pertes et les gains de chaleur pendant le chauffage et le refroidissement du bâtiment.

La conduction thermique a été identifiée comme le principal mécanisme de transfert de chaleur dans les solides. Théoriquement, le processus de conduction thermique dans un solide peut être décrit comme la propagation de l'énergie vibrationnelle des phonons à travers la structure cristalline. [61, 62]. Plus concrètement, l'isolation thermique est réalisée par des obstacles ou résistance d'interface dans le chemin du transfert de chaleur.



**Figure II. 11 :** la conductivité thermique des fibres végétales

À partir de la figure II.11, nous pouvons favoriser la force de fibres végétales comme renforts en isolant thermique à moindre conductivités que celles des équivalents artificiels (GFRC et CFRC). Le plus haut la conductivité thermique du CFRC était due à la structure cristalline hautement ordonnée de graphite, alors que la fibre de verre est un matériau d'isolation thermique favorable en raison de ses composants en céramique et en silicium. Doté de la structure de lumière poreuse intrinsèque, les fibres végétales présentaient des conductivités thermiques encore plus faibles dans le composite car plus de chaleur a été dissipée entre le flux d'air et le volume par effet visqueux

Même avec des composés chimiques similaires, les conductivités thermiques de Les PFRC ont montré des différences dans la figureIII.9. Un mécanisme plus impactant devrait être lié aux caractéristiques physiques des fibres énumérées dans le tableauIII 3. Dans des conditions identiques, fraction volumique, le faisceau de fibres peut être équivalent à un cylindre avec une lumière de proportions spécifiques.

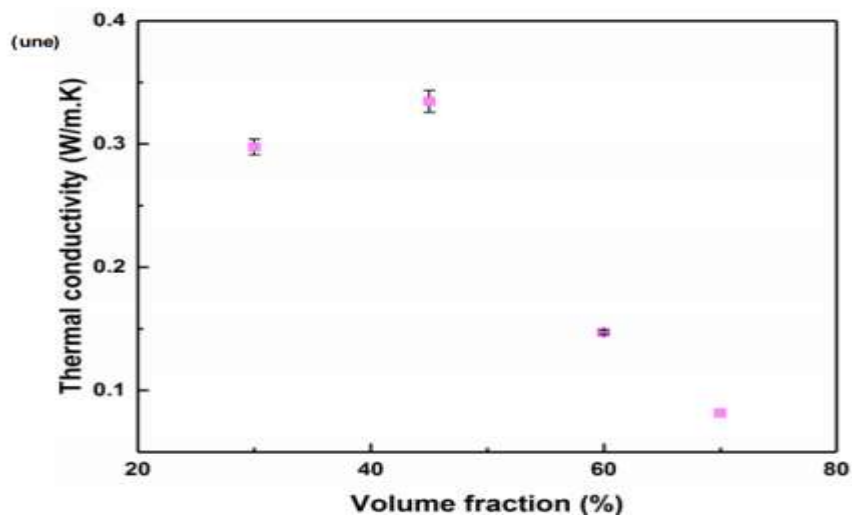
**Tableau II. 4 :**Propriétés physiques des fibres végétales.

lesfibres Végétal	Diamètre de fibre	Diamètre du lumen (µm)	Ratio lumen (%)	Densité (g / cm3 )
Lin	19.3	5	6.8	1.5-1.54
Ramie	34	5.7	16.7	1.5
jute	81.2	6.7	24.3	1.3-1.45



**Chapitre II:** Revue de littérature sur les composites renforcés de granulats légers de nature végétale

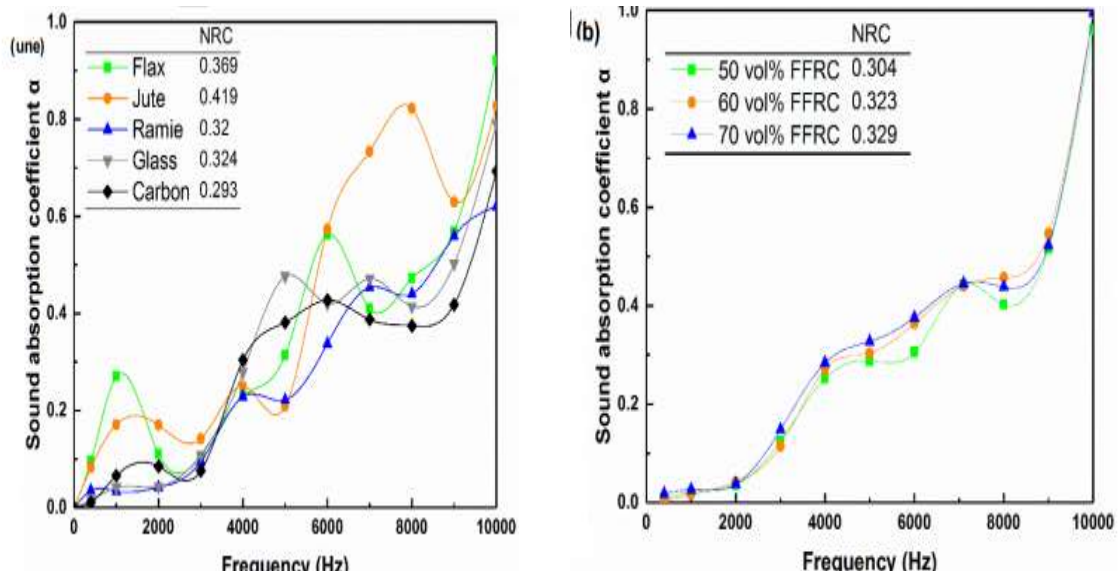
Comme démontrée sur la figure 4a, une référence supplémentaire de 70% en volume a été ajoutée pour clarifier la tendance. Au fur et à mesure que la charge de fibre augmentait, la conductivité thermique transversale augmentait d'abord puis a commencé à s'effondrer lorsque la fraction volumique de fibres était supérieure à 45%. Assisté par SEM (Fig.4b et 4c), moins de lumières et plus de sections déformées du faisceau de lin étaient observés à 45% vol que ceux à 30% vol qui devraient être attribuables à l'augmentation de la densité apparente causée pendant le processus de formation des composites. On suppose que ce sommet à 45 vol% a été causé par la contribution diminuée de lumens. Avec l'augmentation supplémentaire de la teneur en fibres



**Figure II. 12 :** la conductivité thermique des composites renforcés de fibres végétales (PFRC)

Une tendance similaire a été notée que l'augmentation des fibres de lin ont amélioré les performances d'absorption acoustique du système composite avec un coefficient de réduction du bruit (CNRC) plus élevé.





**Figure II. 13 :** le mécanisme d'absorption d'énergie thermique des composites renforcés de fibres végétales (PFRC) en fonction de coefficient de réduction du bruit (CNRC).

Les recherches sur les propriétés thermiques et acoustiques des PFRC ont été minutieusement poursuivies dans ce travail, montrant des aspects encourageants des PFRC étant appliqués comme matériaux transparents électromagnétiques, thermiques et acoustiques isolateurs. La structure de la lumière et de la paroi cellulaire de la fibre végétale a tendance à présenter une résistance à la propagation de la chaleur et du son et une meilleure isolation thermique et acoustique [63]

## II.4. Traitement des fibres végétales

### II.4.1. Traitements physiques

Pour traiter les fibres végétales on utilise :

L'étirage, le calandrage, le traitement thermique, le laser, les rayons gamma, les UV, plasma... modifient les propriétés structurales et de surface de la fibre, et influencent ainsi les liaisons avec les polymères.

### II.4.2. Traitement chimique des fibres végétales

Pour améliorer l'adhérence des fibres avec la matrice, plusieurs approches ont été prises en compte de l'utilisation du traitement chimique des fibres de cellulose pour réduire leur caractère hydrophile [53].

#### II.4.2.1. Traitement Alcalin [FRE 06, CAO 06]

Le traitement le plus étudié sur les fibres végétales est le traitement alcalin, et en particulier à la soude ( $\text{NaOH}$ ). Le traitement des fibres végétales avec de l'hydroxyde de sodium conduit à un changement de leur structure. Les modifications les plus importantes causées par ce traitement sont :

- La rupture des liaisons hydrogène dans la structure du réseau des fibres ;
- L'augmentation de la rugosité extérieure ;
- L'élimination d'une certaine quantité de lignine, de cire et des huiles couvrant la paroi cellulaire de la fibre ;
- Dépolymérisation de la cellulose ; [64] [65]

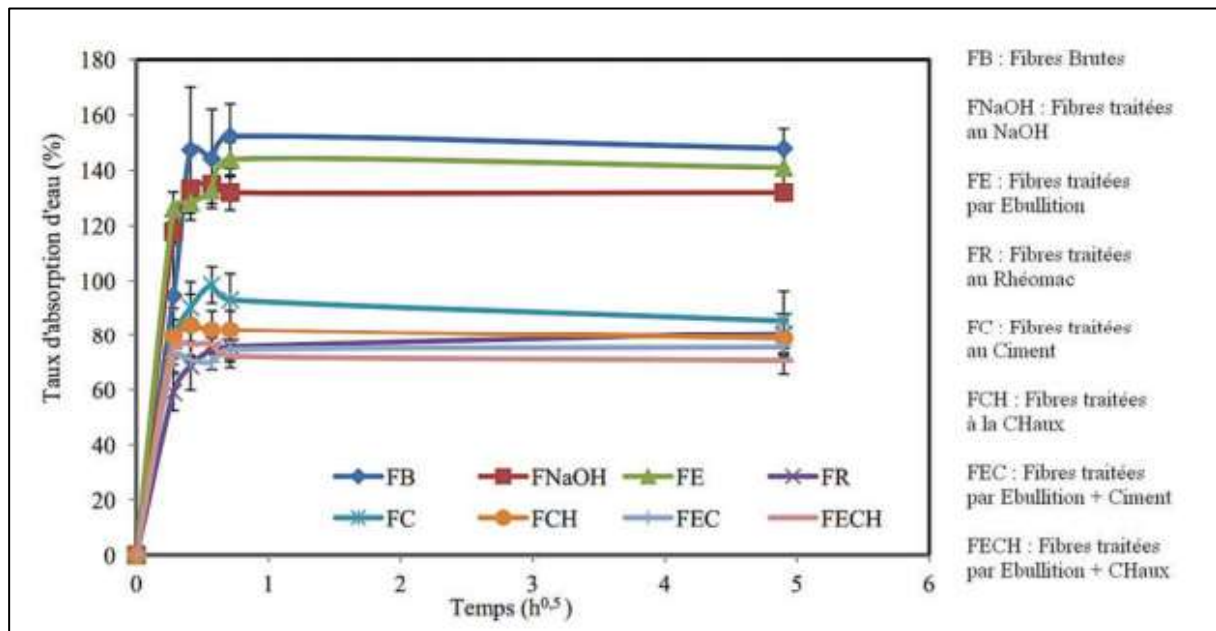


Figure II. 14 : Absorption d'eau des fibres de lin avec ou sans traitement [66]

A partir de la figure précédente en remarque que l'absorption des fibres non traitées (brutes) est plus élevés que celle traité avec des solutions chimiques.

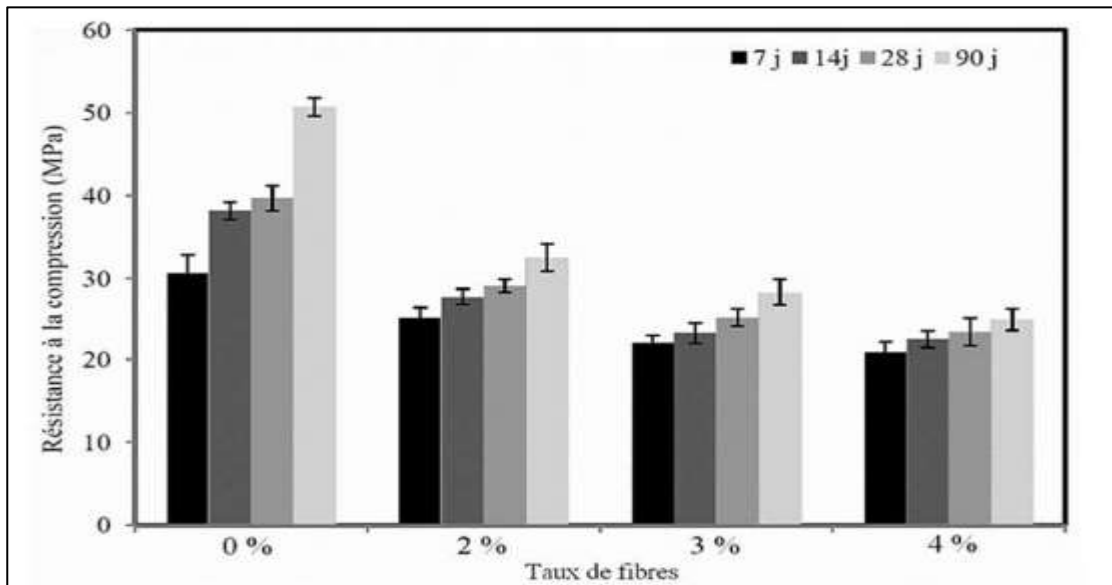


Figure II. 15 : Influence du taux de fibres de lin sur la résistance en compression du mortier

L'augmentation de pourcentage de fibre de lin dans le mortier diminue la résistance à la compression [66] Tai Thu NGUYEN (2014) a étudié un procédé de fabrication d'un béton de chanvre, Cependant, ce type de granulat montre une énorme capacité d'absorption d'eau due à la structure capillaire des particules de la chènevotte, Cette absorption entraîne potentiellement une mauvaise prise voire une absence de prise des liants mélangés avec la chènevotte.

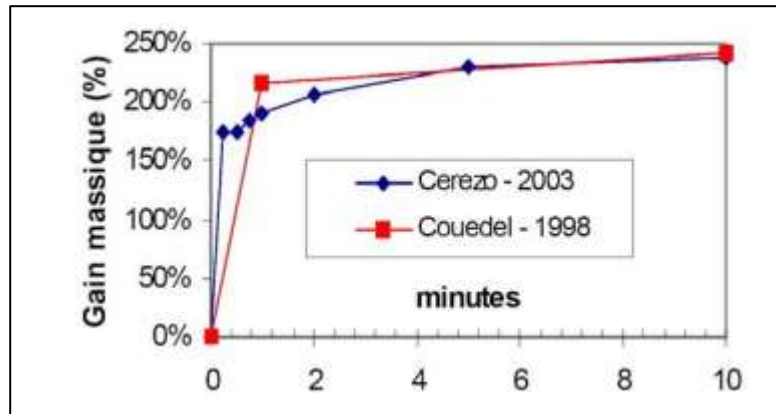


Figure II. 16 : Absorption d'eau en fonction du temps des particules sèches de chènevotte [67]

L'absorption d'eau par les chènevottes influe sur les caractéristiques mécaniques de composites cimentaires bio-fibrés.

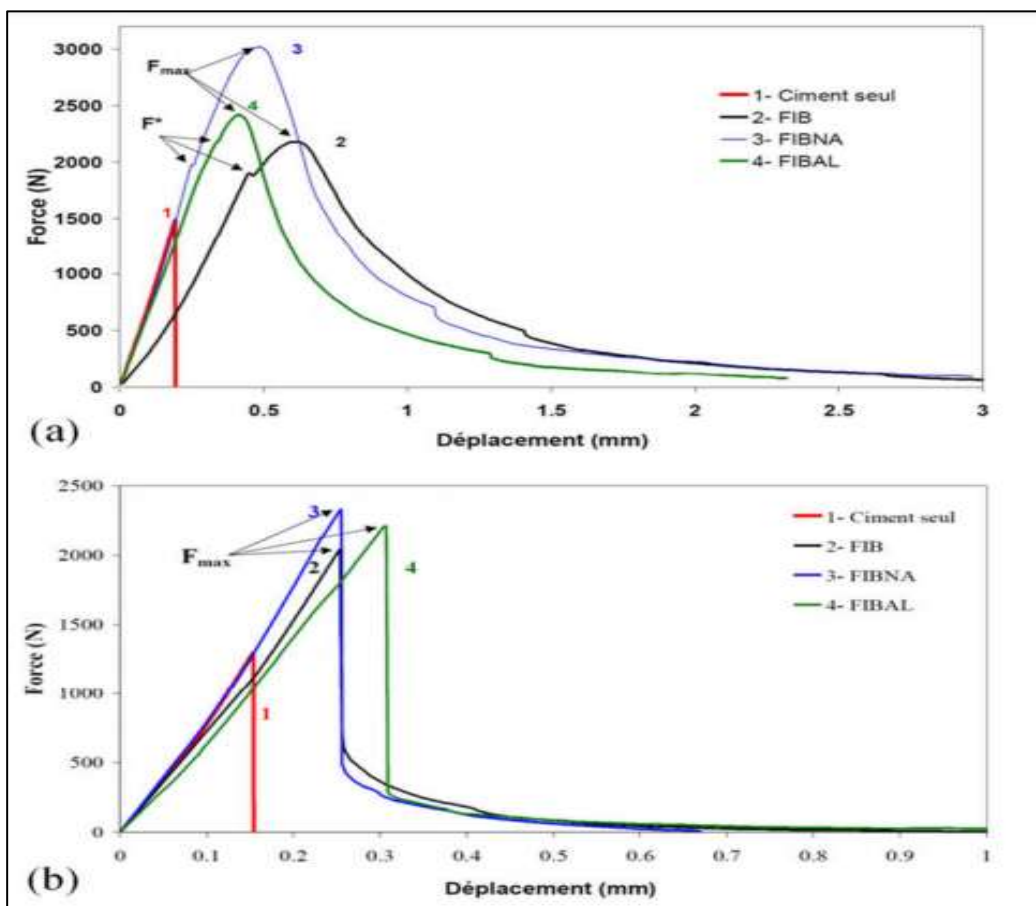


Figure II. 17 : Comportement mécanique en flexion 3 points d'une matrice cimentaire renforcée par des fibres de chanvre brutes (FIB), et des fibres traitées avec une solution de soude (FIBNA) et de chlorure d'aluminium (FIBAL) à 28 jours (a) et après 12 mois de vieillissement naturel (b) [68]

La résistance à la flexion de ciment seule est très fragile par contre les matériaux composite à base des fibres de chanvre non traité semi fragiles et peut résister si lui compare avec les fibres traité qui donne une bonne résistance aux flexions. [69]

### II.4.2.2. Traitement de Silane

L'utilisation d'agents de couplage silane est une pratique très connue. En matériaux composites à base de fibre de verre et de matrice polymère. Ces agents Également utilisé dans les composites fibres de bois/ciment

Le silane  $\text{SiH}_4$  est utilisé comme agent de couplage. Cela peut réduire Le nombre de groupes hydroxyles cellulosiques à l'interface fibre/matrice. Dans En présence d'humidité, le groupe alkyle hydrolysable conduit à la formation de Silanol.

Ce dernier réagit avec le groupe hydroxyle de la fibre pour former une liaison covalente Stable à la paroi cellulaire. Par conséquent, les chaînes hydrocarbonées dues à l'application du silane ralentissent le gonflement de la fibre en créant un réseau réticulé au niveau de la liaison covalente entre la matrice et la fibre. [53]

### II.4.2.3. Traitement à l'hydroxyde de calcium

Le traitement consiste à immerger les particules végétales pendant un certain temps Solution saturée de chaux  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Le but de ce processus est : extraire Les polysaccharides minéralisent la surface et piègent les ions calcium dans la structure Pectine.

Cette technique a été réalisée par plusieurs chercheurs, Sedan et Le Trodec ont immergé les fibres de chanvre dans la solution saturée de chaux, mais le traitement a provoqué une diminution importante de la résistance en flexion du composite cimentaire dès 28 jours de cure. [68][70]

### II.4.3. Traitement thermique

Des traitements de rectification thermique sont régulièrement appliqués au matériau bois.

La rectification consiste à effectuer une pyrolyse contrôlée en atmosphère inerte, ce qui donnera au bois de nouvelles propriétés, à savoir une plus grande stabilité dimensionnelle.

Ehsan Ullah Khan une, b, Rao ArsalanKhushnood une, ↑, BalochWaqasLatif c (2020) ont réalisé une analyse TGA et DTA sur un échantillon de sciure de bois dur pour évaluer sa dégénérescence thermique en termes de perte de masse totale en utilisant un analyseur thermogravimétrique DTG-60H. Résultats des tests rapportés dans Figure .II.16

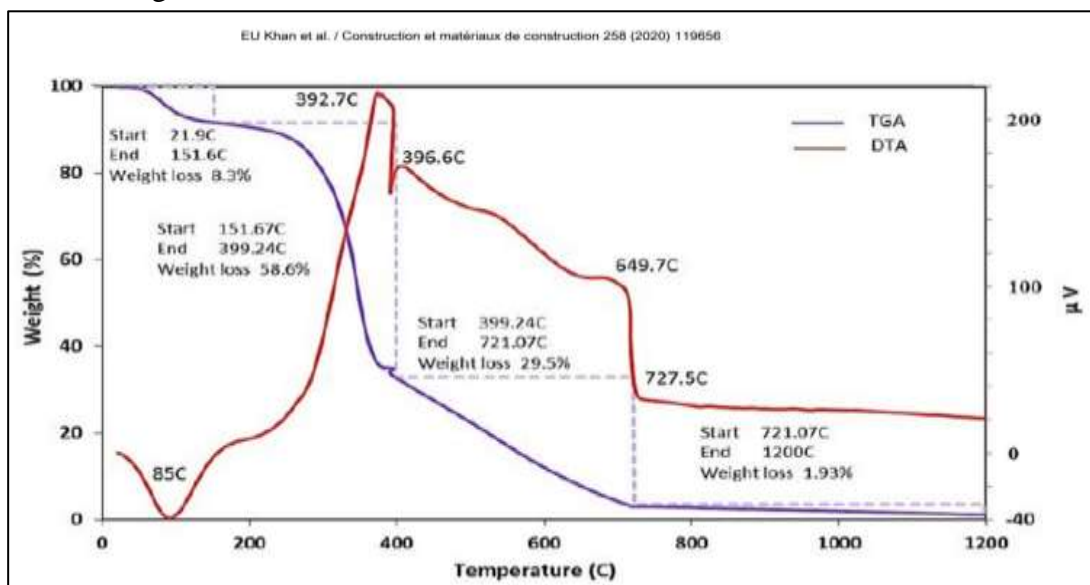


Figure II. 18 : TGA / DTA de l'échantillon de sciure.

Illustrent trois intervalles de perte de poids dus à l'extraction de l'humidité interne et de l'eau adsorbée, la dépolymérisation de l'hémicellulose et de la pectine, la dégradation de la cellulose et de la lignine respectivement [71,72]. Perte de poids précoce (8,3%) entre 21,9 C° à 151,6 C° sont associés à la vaporisation de l'humidité de la sciure de bois, tandis que sa décomposition a commencé à une température plus élevée spécifiquement après 242 C°. Après cette valeur, la stabilité thermique de la sciure commence à diminuer et conduit à la dégradation de l'échantillon. La température de 151,6 C° à 399,2 C° représente une perte de poids de 58,6% qui est attribué à la dépolymérisation thermique de l'hémicellulose et de la pectine tandis que la perte de poids ultérieure 29,5% est corrélée à la dégradation de la cellulose et de la lignine des principaux composants présents dans la sciure de bois. L'analyse DTA de la sciure de bois présente deux pics exothermiques entre 230 C° et 640 C°. Ces pourrait être attribuée à la dégradation des composés organiques dans l'échantillon de sciure de bois.

Le premier pic indique la combustion de substances volatiles et la dernière montre la décomposition de substances non volatiles. De plus, la décomposition maximale de l'échantillon de sciure de bois s'est produite à une température de 392 C°. La phase consécutive de 396 C° à 727 C° correspond à la phase de perte / dégradation de masse maximale de sciure de bois. La phase finale comprend un minimum de perte de masse qui pourrait être associée à l'évolution du CO<sub>2</sub> [73] [51]

## **II.5.Conclusion du chapitre**

Dans cette section nous avons présenté les différents matériaux composites à base des agro-ressources. Les différentes définitions et propriétés spécifiques des composites à base végétale sont également présentées.

Ces matériaux de construction sont dotés par un caractère d'isolation thermique et acoustique, particulièrement ces composites présentent une faible masse volumique comparativement ou composites classiques notamment les bétons et les mortiers ordinaires.

Les caractéristiques suscitées nous ont permis de choisir le granulat utilisé dans notre investigation expérimentale, en optant pour la sciure de bois, eu égard à la disponibilité du matériau dans notre pays l'Algérie, et son coût raisonnable.



**Chapitre III : Caractérisation des matériaux  
utilisés et procédés expérimentaux**



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

Dans ce chapitre, nous avons déterminé les caractéristiques physiques des matériaux utilisés, ainsi l'optimisation des différents mélanges des matériaux composites bio-ressourcés considérés dans notre étude expérimentale effectuée au niveau de laboratoire de notre université. Afin d'étudier la variation des propriétés physico-mécaniques et ultrasoniques de nos composites végétaux, deux gammes de la sciure de bois (*les fines 0/2mm*) et/ou (*les paillettes 5/10 mm*) ont été incorporées avec des différents pourcentages dans la matrice du plâtre et la matrice du ciment.

### **III.2. Matériaux utilisés**

#### **III. 2. 1. sciure de bois**

La sciure de bois est un déchet qui est produit à partir d'une opération de sciage sur la matière premier le bois avec une scie ou un autre outil (la coupe, le broyage). C'est aussi un sous-produit de certains animaux, oiseaux et insectes Vivez sur le bois comme les pics et les fourmis des bois [74]. La sciure a de nombreuses autres utilisations pratiques, notamment comme paillis et comme substitut à la litière d'argile pour chat Ou comme carburant. Jusqu'à ce que la réfrigération apparaisse. Elle est disponible presque gratuitement chez les menuiseries, elle se constitue de plusieurs gammes comme elle est présentée dans la figure ci-après.



**Figure III. 3 : Différentes gammes de sciure de bois.**

### **III.2.2 : La caractérisation physique de la sciure de bois**

#### **III.2.2.1 L'analyse granulométrique**

La granulométrie par tamisage à sec au moyen de tamis à mailles carrés de dimensions inférieure ou égale à 100 mm, s'applique aux sols, aux matériaux rocheux après extraction, Les granulats sont de provenances naturelles ou artificielle et sous-produits industriels utilisés dans le domaine du bâtiment et du génie civil, dans la mesure ou le processus d'essais ne modifie pas leurs structure.[**Norme NF P 94-056**]

L'essai consiste à classer des différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîter les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en parti supérieur des tamis et le classement des grains obtient par vibration de la colonne de tamis.

Cette opération a été réalisée par une tamiseuse qui est présentée sur la figure III.2



Figure III. 4 : Tamiseuse électrique



Figure III. 5 : série de tamis utilisée pour tamiser la poudre de bois.



(A)

(B)

(C)

Figure III. 6 : la quantité de tamisas (A=0.8mm, B=1.mm, C=5mm).

- On prend en considération deux gammes :
- 0/2(tamis 0.8-1.2)
- 5/10(tamis 5-6...)

### III.2.2.2.Détermination de la masse volumique apparente de scieur de bois

Rapport entre la masse du matériau et le volume apparent des grains de matière. Le rapport tient compte des vides interstitiels et des vides liés aux pores des matériaux. Exprimé en g/cm<sup>3</sup>.

A l'aide d'un récipient cylindrique de diamètre de 11.3cm, hauteur de 15.5 cm, Nous avons déterminé la masse apparente du scieur.

- Le volume de récipient est de  $1553.66\text{cm}^3$  ( $\frac{11.3^2}{4} * 3.14 * 15.5$ ).
- La masse de récipient est de 312 g.

### III.2.2.3.Méthodologie

- Remplissage de récipient par la scieur de bois à l'aide d'une pelle
- Arasement de récipient pour Retirer la quantité Excès à l'aide d'une règle
- A la fin, peser la masse du scieur sec



Remplissage

Arasement

Peser

Figure III. 7 : étapes de détermination de la masse volumique apparente de la sciure de bois

**III.2.2.4 : détermination de la masse volumique apparente de la sciure de bois**

Tableau III. 1 : récapitulatif des masses volumiques apparente de la sciure de bois.

La gamme (mm)	Gamme 0/2	Gamme 5/10
La masse volumique apparente	$\rho_{App}=0.55 \text{ g /cm}^3$	$\rho_{App}=0.18 \text{ g /cm}^3$
	$\rho_{App}=0.52 \text{ g /cm}^3$	$\rho_{App}=0.18 \text{ g /cm}^3$
	$\rho_{App}=0.52 \text{ g /cm}^3$	$\rho_{App}=0.17 \text{ g /cm}^3$
La moyenne	$0.53 \text{ g /cm}^3$	$0.176 \text{ g /cm}^3$

**III.2.2.5: Détermination de la masse volumique absolue**

Cette grandeur est intéressante pour les matériaux poreux. Pour y accéder, il faut broyer très finement le matériau et mesurer la masse volumique réelle de la poudre obtenue. La masse volumique absolue est donc le rapport de la masse du matériau sur le volume réel auquel on a soustrait le volume des pores (ouverts et fermés). Elle est égale à la masse volumique réelle dans le cas des matériaux non poreux.

$$\rho_{Abs} = \frac{m_{mat}}{v_{abs}} = \frac{m_{mat}}{v_{réel} - v_{pore}}$$

Dans notre étude la masse volumique absolue de la sciure de bois a été prise selon la norme (NF P 18-554)

$$\rho_{Abs} = 500 \text{ kg/m}^3.$$

**III.2.3. le coulis de plâtre et de ciment**

➤ le plâtre :

Le plâtre est un matériau de construction qui sert principalement à enduire. Mais son utilisation tend à devenir plus importante, grâce à sa facilité de préparation et une adhérence accrue au ciment comme au bois.

De nombreuses variétés comme les plaques de plâtres et les Placoplatre se multiplient pour faciliter encore plus la pose. Le résultat est une surface lisse, qui peut être laissée comme telle ou peinte. Légèreté, malléabilité, sont les principaux avantages du plâtre.



Figure III. 8 : plâtre utilisé

### ➤ Ciment portland composé

Le ciment utilisé dans ce travail est un ciment portland composée CPJ-CEM II/ A 42,5. C'est un ciment conforme à la norme NA 442 :2000. Il provient de la cimenterie d'Ain kebira (Wilaya de Sétif). Ce ciment est obtenu par le mélange de clinker finement broyé avec certains ajouts. Le sulfate de calcium est ajouté sous forme de gypse en tant que régulateur de prise.

Suivant la norme NF EN 197.1 le ciment portland composé résultent de mélange de clinker en quantité au moins égale à 65% et d'autre constituant telle que le laitiers de haute fourneaux , cendre volante ,pouzzolane ,fumé de silice ,de totale ne dépasse pas le 35%.

Le CEMII/A utiliser pour la plupart des travaux en béton armer en non, la maçonnerie, certain produit préfabriqué.



Figure III. 9 : de ciments utilisés

CEMII/A-L 42.5 N

CEMII : ciment portland composé

A :% de clinker entre 6et 20%

L : calcaire en fonction de taux de carbone organique  $L < 0,5\%$

42,5 : classe de résistance à 28 jours en *MPA*

N : sous-classe de résistance minimum à 2 jours en *MPA* prise normale

✓ **La composition chimique de ciment**

Est un ciment d'une couleur gris contenant :

80 à 90% Clinker ordinaire  $c_3s \geq 55\%$ .

6 à 20% de clinker pur.

0 à 5% de gypse en tant de régulateur de prise.

**Tableau III. 2 :** La composition chimique de ciment CEMII/A-L

ELEMENT	TENEUR
$SiO_2$	18.47
$Al_2O_3$	4.63
$Fe_2O_3$	3.34
CaO	61.08
MgO	1.16
$Na_2O$	0.4
$K_2O$	0.71
$SO_3$	2.64
$Cl^-$	0.017
CaO libre	0.87
PAF	6.69
Résidus insoluble	2.15

- **L'eau :** l'eau de gâchage utilisé est l'eau du robinet (eau potable). de laboratoire de génie civil du pôle universitaire (AMOB), E/C donne la quantité d'eau utilisée par rapport à la quantité de plâtre ou de ciment, sans tenir compte le dosage de la poudre de bois de variantes étudiée (15.30.45.60%).

**III.2.3.1.Mode opératoire**

**III.2.3.1.1. Calcul des quantités de matériaux nécessaires pour les différentes éprouvettes**

➤ **Coulis de plâtre**

La réalisation des éprouvettes témoins nous permet d'identifier les caractéristiques mécaniques et physiques du mortier.

Aux cours de l'expérience, on aura la perte de masse lors du malaxage donc nous avons calculé la masse de chaque matériau, en ajoutant 10% de chaque masse de constituants

➤ **Formulation du plâtre témoin**

La masse volumique absolue du plâtre est de  $1.3 \text{ g/cm}^3$

Le volume de trois éprouvette est  $(4*4*16)*3=768 \text{ cm}^3$

Donc la masse de plâtre nécessaire pour trois éprouvettes est :

$768*1.3=998.4 \text{ g}$

- Masse de plâtre : 1100 g
- Eau : 460 ml

➤ **La masse volumique absolue du bois est 0.5 g/ cm<sup>3</sup>**

Donc la masse de déchets de bois nécessaire pour trois éprouvettes est :

$$786 \times 0.5 = 384 \text{ g.}$$

**Tableau III. 3 :** les différentes formulations des éprouvettes à base du plâtre.

Bois%		Masse (g)		Masse(g) +10%		Plâtre %	Masse( g)	Masse(g) +10%	Eau (g)
0/2	5/10	0/2	5/10	0/2	5/10				
Plâtre témoin		0	0	0	0	100%	1100	1210	460
15%	0%	57.6	0	63.36	0	85%	848.64	933.64	500
30%	0%	115.2	0	126.72	0	70%	698.88	768.76	580
45%	0%	172.8	0	190.08	0	55%	549.12	604.03	680
10%	5%	38.4	19.2	42.24	21.12	85%	848.64	933.64	500
25%	5%	96	19.2	105.6	21.12	70%	698.88	768.76	580
40%	5%	153.6	19.2	168.96	21.12	55%	549.12	604.03	680
5%	10%	19.2	38.4	21.12	42.24	85%	848.64	933.64	500
20%	10%	76.8	38.4	84.48	42.24	70%	698.88	768.76	580
35%	10%	134.4	38.4	147.48	42.24	55%	549.12	604.03	680
0%	15%	0	57.6	0	63.36	85%	848.64	933.64	500
15%	15%	57.6	57.6	63.36	63.36	70%	698.88	768.76	580
30%	15%	115.2	57.6	126.72	63.36	55%	549.12	604.03	680

• **Elaboration des mélanges à base du plâtre et la scieur de bois**

- ✓ Verser le plâtre+ poudre de bois.
- ✓ Mettre le malaxeur en marche sur la première vitesse.
- ✓ Verser la quantité d'eau (80 % de quantité d'eau).
- ✓ Continué à verser de l'eau au cours de malaxage jusqu'à l'obtention de la maniabilité de mélange
- ✓ Arrêter le malaxage et racler les cotés
- ✓ Arrêter et terminer le malaxage
- ✓ Verser le coulis de plâtre dans des moules prismatiques (4×4×16) cm<sup>3</sup>. (Voir figure.10).

Préparation des éprouvettes prismatiques (4x4x16) cm<sup>3</sup> dans un malaxeur automatique





Figure III. 10 : Malaxage du mélange plâtre-sciure de bois.

- ✓ Utiliser la table vibrante (table des chocs) pendant 15 seconds



Remplissage des moules



Vibration du mélange



Finition des éprouvettes

Figure III. 11 : étapes de coulage des éprouvettes prismatiques.

- Après le démoulage des éprouvettes, on doit en peser pour prendre en considération l'humidité intrinsèque des éprouvettes, neuves éprouvettes pour chaque pourcentage (15%. 30%. 45 %)



Figure III. 12 : la masse des différentes éprouvettes à base de plâtre juste après démoulage

Remarque : Le (E/P) varie en fonction de dosage et les dimensions de déchets de bois utilisés.

**III.2.3.1.2. Calcul des quantités de matériaux nécessaires pour les différentes éprouvettes**

• **Coulis de ciment**

✚ La masse volumique absolue du ciment est de 2.8 t/ m<sup>3</sup> → 2.8g/ cm<sup>3</sup>

✚ Le volume de trois éprouvettes est (4\*4\*16)\*3 = 768 cm<sup>3</sup>

Donc la masse de ciment nécessaire pour trois éprouvettes est :

$$M_c = 786 * 2.8 = 2150.4 \text{ g}$$

✚ La masse volumique absolue de bois est 0.5 g/ cm<sup>3</sup>

Donc la masse de déchets de bois nécessaire pour trois éprouvettes est :

$$M_{sc} = 786 * 0.5 = 384 \text{ g}$$

▪ Exemple de calcul :

Pour 30% :

- la quantité de scieur nécessaire est :

$$(30 * 384) / 100 = 115.2 \text{ g}, \quad 10\% M_{sc} = 11.52 \quad M_{sc} = 115.2 + 11.52 = 126.72 \text{ g}$$

- la quantité de ciment nécessaire est :

$$(70 * 2150.4) / 100 = 1505.28 \text{ g}; 10\% M_c = 150.52 \quad M_c = 1505.28 + 150.52 = 1656.38 \text{ g}$$

**Tableau III. 4 : Formulation des éprouvettes élaborées de coulis de ciment**

Bois%		Masse (g)		Masse(g) +10%		Ciment	Masse(g)	Masse(g)	Eau
0/2	5/10	0/2	5/10			%		+10%	(g)
30%	0%	115.2	0	126.72	0	70%	1505.8	1656.38	707
45%	0%	172.8	0	190.08	0	55%	1182.72	1300.99	807
60%	0%	230.4	0	253.44	0	40%	860.16	946.17	807
20%	10%	76.8	38.4	84.48	42.24	70%	1505.8	1656.38	707
35%	10%	134.4	38.4	147.84	42.24	55%	1182.72	1300.99	707
50%	10%	192	38.4	211.2	42.24	40%	860.16	946.17	807
10%	20%	38.4	76.8	42.24	84.48	70%	1505.8	1656.38	747
25%	20%	96	76.8	105.6	84.48	55%	1182.72	1300.99	807
40%	20%	153.6	76.8	168.96	84.48	40%	860.16	946.17	710
0%	30%	0	115.2	0	126.72	70%	1505.8	1656.38	690
15%	30%	57.6	115.2	63.36	126.72	55%	1182.72	1300.99	707
30%	30%	115.2	115.2	126.72	126.72	40%	860.16	946.17	807

• **Elaboration de coulis de ciment**

Elaboration des mélanges à base du ciment et la scieur de bois

- ✓ Verser le ciment+ poudre de bois.
- ✓ Mettre le malaxeur en marche sur la première vitesse.
- ✓ Verser la quantité peut un peu aux de malaxage jusqu'à l'obtention de maniabilité et homogénéités de mélange
- ✓ Arrêter le malaxage et racler les cotés
- ✓ Arrêter et terminer le malaxage.





**Figure III. 13 :** Malaxage du mélange ciment-sciure de bois

Après le malaxage du mélange nous allons procéder immédiatement à la détermination de ses caractéristiques rhéologiques notamment l'ouvrabilité à l'aide de l'essai d'étalement (Slump Flow) sur une table à secousses.

Le mélange ciment-sciure de bois à l'état frais étant placé dans un cône de diamètre inférieur : 100 mm, diamètre supérieur : 70 mm et de hauteur : 60 mm, en deux couches compactées à l'aide d'une tige métallique.

la table subit 15 secousses en 15 second, Après enlèvement du cône, la table subit 30 secousses en 30 secondes et la valeur de l'étalement considéré, constitue la moyenne de la mesure de l'étalement du mélange sur deux directions perpendiculaire.



**Figure III. 14 :** détermination de l'étalement pour mélanges à l'état frais [ASTM C 124]

Le calcul de l'étalement à la table de secousses se fait par la formule suivante :

$$E\% = 100(D_r - D_i)/D_i$$

Avec :  $D_r$  = diamètre final et  $D_i$  = diamètre initial.

**III.3.2.1. Essai d'étalement sur la table vibrante**

L'essai consiste à mesurer le diamètre d'étalement de différentes variantes étudiées (30.45.60%)

**Tableau III. 5 : Valeurs d'étalement des mortiers à base de sciure de bois**

N°	Variantes		Diamètre (cm)		Valeur d'étalement (cm)	La moyenne d'étalement (cm)
	0/2	5/10				
1	30%	0%	Di=10.15	Df=16.9	66%	<b>72%</b>
			Di=10.15	Df=17	73%	
			Di=10.15	Df=18	77%	
2	45%	0%	Di=10.35	Df=18	73%	<b>65.66</b>
			Di=10.4	Df=16.7	62%	
			Di=10.4	Df=16.7	62%	
3	60%	0%	Di=10.65	Df=18.5	73.7%	<b>72.46%</b>
			Di=10.45	Df=18.5	73.7%	
			Di=10.55	Df=18	70%	
4	20%	10%	Di=10.35	Df=18.5	78%	<b>78%</b>
			Di=10.35	Df=18.5	78%	
			Di=10.35	Df=18.5	78%	
5	35%	10%	Di=10.45	Df=18.7	78%	<b>76%</b>
			Di=10.35	Df=17.9	72%	
			Di=10.1	Df=16.3	61%	
6	50%	10%	Di=10.2	Df=16.35	60%	<b>60%</b>
			Di=10.2	Df=16.35	60%	
			Di=10.2	Df=16.35	60%	
7	10%	20%	Di=10.35	Df=17.6	70%	<b>76%</b>
			Di=10.25	Df=18.4	79%	
			Di=10.25	Df=18.4	79%	
8	25%	20%	Di=10.1	Df=18.2	80%	<b>71%</b>
			Di=10.05	Df=17.6	76%	
			Di=10.25	Df=18	75%	
9	40%	20%	Di=10.35	Df=16.95	63%	<b>71%</b>
			Di=10.25	Df=17.95	75%	
			Di=10.2	Df=17.95	75%	
10	0%	30%	Di=10.55	Df=17.55	66%	<b>68%</b>
			Di=11.1	Df=19.1	72%	
			Di=10.45	Df=17.55	67%	
11	15%	30%	Di=10.1	Df=16.95	67%	<b>66.66%</b>
			Di=10.25	Df=17.05	66%	
			Di=10.1	Df=16.95	67%	
12	30%	30%	Di=10.1	Df=17.05	69%	<b>67%</b>
			Di=9.95	Df=16.5	65%	
			Di=10.2	Df=17.07	67%	

La classification des mélanges en termes de leurs caractéristiques rhéologiques se fait selon les recommandations du (tableau III.6.)

**Tableau III. 6 :** taux d'étalement à la table à secousse

L'ouvrabilité	Etalement à la table à secousse(%)
Très ferme	10 – 30
Ferme	30 – 60
Normal (plastique)	60 – 80
Mou	80 – 100
Très mou à liquide	> 100

Après l'obtention d'un mortier plastique :

- ✓ Verser le coulis de ciment dans des moules prismatiques (4×4×16) cm<sup>3</sup>
- ✓ Utiliser la table vibrante (table des chocs) pendant 60 seconds,

Les éprouvettes seront numérotées par rapport aux jours des essais physico-mécaniques prévus (7, 14 et 28 jours) après le démoulage différentes variantes.



**Figure III. 15 :** Numérotation et conservation des éprouvettes à base de ciment

- Après le démoulage des éprouvettes, on doit en peser pour prendre en considération l'humidité intrinsèque des éprouvettes, neuves éprouvettes pour chaque pourcentage (30, 45,60 %).



**Figure III. 16 :** la masse des différentes éprouvettes à base de ciment juste après démoulage

### III.2.4. Caractérisations mécaniques

Les propriétés mécaniques de nos composites à base des agro-ressources, ont été déterminées par les essais destructifs au niveau de notre laboratoire, notamment à la compression  $\sigma_c$  et à la flexion 3-points  $\sigma_f$ .

#### III.2.4.1. la résistance à la flexion

L'essai de flexion est un test mécanique. Il consiste à placer une barre rectangulaire sur deux appuis et d'appliquer un effort ponctuel au centre [75], comme illustré à la figure



Figure III. 17 : disposition de flexion 3-points des éprouvettes (4x4x16 cm<sup>3</sup>)

#### III.2.4.1.1. Mécanisme de rupture

La rupture est due à la création et à la propagation de fissures, généralement localisées sur la fibre externe la plus sollicitée en extension (figure IV.16). Quand une contrainte locale devient égale à la résistance de cohésion de la matière, les liaisons interatomiques de cette région se rompent [76]



Figure III. 18 : mode de rupture des éprouvettes (4x4x16 cm<sup>3</sup>) à la flexion 3-points

La flexion représente le cas d'une poutre posée sur deux appuis simples (appuis linéaires rectilignes qui, dans un problème plan, équivalent à une liaison ponctuelle) et soumise à une charge concentrée (p), appliquée au milieu de la poutre avec elle aussi un contact simple. On modélise souvent un des appuis comme un pivot afin d'avoir une poutre qui ne se déplace pas horizontalement.

La résistance en flexion  $\sigma_f$  (en  $N/mm^2$ ) est calculée au moyen de la formule :

$$\sigma_f = \frac{3pl}{2bh^2} \text{ avec}$$

**p** : est la force appliquée

**L** : est la distance entre les appuis

**h** et **b** sont respectivement la hauteur et la largeur de l'éprouvette.

Diagramme des contraintes à la flexion à trois points sera présenté comme suite :

### **III.2.4.1.2. Machines de flexion**

La machine utilisée est de type RP 200 BT avec une pression de 400 bar et une force maximal de 200 KN



Dispositif de flexion

Table de commande

**Figure III. 19** : Machine de flexion de laboratoire génie civil

### **III.2.4.2. Résistance à la compression**

Selon la norme (NFT 51.101) Cet essai consiste à appliquer un effort de compression à un échantillon reposant sur une surface indéformable. Cette sollicitation provoque un écrasement de l'éprouvette. On mesure simultanément les contraintes et déformations au cours de l'essai. La norme définit entre autre :

- La contrainte de rupture
- La contrainte au seuil d'écoulement
- La déformation à la rupture
- La déformation au seuil d'écoulement

L'essai de compression mesure la résistance à la compression d'un matériau sur une machine de compression mécanique suivant un protocole normalisé

#### **III.2.4.2.1. Machines de compression**

la machine utilisée est de type RP3000 XPP/E, d'une pression maximal de 400 bar et d'une force maximal de 2826 KN, une surface de 70650 mm<sup>2</sup>



**Figure III. 20 :** machine de compression



**Figure III. 21 :** Mode rupture à la compression des éprouvettes (4x4x4cm<sup>3</sup>)

La résistance en compression  $\sigma_c$  (en  $N/mm^2$ ) est calculée au moyen de la formule :

$\sigma_c = \frac{F}{S}$  s'exprime en Newtons (N), la section en  $mm^2$ , la contrainte  $\sigma_c$  en MPa.

### **III.3. Essai de l'ultrasonore**

Ultrason est une onde mécanique et élastique, diffusé par les gaz les liquide les tissus mous et les solides .ultrason est mesures au nombre de vibration au une second.

#### **III.3.1 : contrôle non destructif du mortier par ultrasons à l'aide d'un dispositif automatisé (ProceqPUNDIT® PL-200)**

La technique de mesure non destructif est applicables avec l'instrument ultrasonique ProceqPUNDIT PL-200 qui permet de connaitre l'approfondi de matériaux mesurer, et les caractéristique mécanique (résistance à la compression), à l'aide d'un émetteur piézoélectrique, une onde mécanique qui sera recevoir avec un récepteur d'onde, qui se propage dans tout l'élément pour analyser ses paramètres physiques en différents points de la structure (temps et amplitude).

ProceqPUNDIT PL-200 nous permet aussi de déterminer le module de Young, et de rechercher des hétérogénéités et des discontinuités dans les structures en béton, et de mesurer l'épaisseur de pièces en béton à l'aide de la mesure de la vitesse du son.

#### **III.3.2.Appareillage**

ProceqPUNDIT PL-200 est constitués de plusieurs objets :

- 1-Écran tactile Pundit de très haute résolution et d'une netteté d'image, permettant d'obtenir la meilleure analyse possible des formes d'ondes mesurées.
- 2-Processeur double cœur prenant en charge diverses interfaces de communication et périphériques (câble USB, DVD)
- 3-Deux câbles BNC de 1,5 m
- 4- câble adaptateur BNC
- 5- Deux transducteurs de 54 kHz (Un nouveau design avec des performances améliorées pour augmenter la portée et la stabilité.)



6- Gel ultrason couplant

7-chargeur

8- documentation

9-sangle et mallette de transport.



Figure III. 22 : les équipements de ProceqPUNDIT PL-200

### III.3.3. Avantages

- Analyseur largement accepté et faisant référence pour le contrôle qualité lors des inspections de béton
- Instrument non destructif pouvant mesurer et corréler la force du béton par rapport à des niveaux de force standard
- Test par ultrasons peut être appliqué sur des structures anciennes et nouvelles, blocs, colonnes, murs, zones endommagées par le feu, structures hydro-électriques, tuyaux, poutres préfabriquées et renforcées, cylindres et autres formes de béton
- Une large gamme de capteurs est proposée en option
- Lecture directe numérique du temps de transit
- Forme de l'onde obtenue affichée sur écran LCD
- Portable, léger et facile d'utilisation
- Lecture directe de la vitesse d'onde P et de vitesse d'onde S
- Lecture directe du module d'élasticité calculée
- Lecture directe du ratio de Poisson
- Sortie pour déclenchement
- Répond à la norme ASTM C – 597

### III 3.4. Mode opératoire

Dans notre expérience on va utiliser la transmission directe pour évaluer la qualité de notre mortier par accès des deux côtés de l'éprouvette.



**Figure III. 23 :** Pundit PL-200 Transmission directe : accès des deux côtés

- Allumer l'appareil, puis entrer les paramètres de matériau
- Fixer les transducteurs sur l'éprouvette à l'aide d'un matériau d'interposition comme la graisse
- Les transducteurs doivent être bien appliqués sur la surface de l'éprouvette à ausculter.

### III.3.5. Les étapes de mesure avec l'appareillage de Pundit PL-200 selon la norme européenne EN12504-4

- ✓ Mesurer les points situés au centre de l'éprouvette
- ✓ Recommandation de la distance de mesure (0.04 m).
- ✓ Etalonnage de l'appareil : application de gel sur les côtés de l'échantillon, cliqué sur mesures, après étalonnage.



**Figure III. 24 :** étalonnage de l'appareil.



**Figure III. 25 :** .détermination de propagation des ondes ultrasoniques dans le matériau à tester

- ✓ Détermine la résistance mécanique à l'aide de la corrélation de la vitesse d'impulsion ultrasonique ou de la méthode SONREB.



#### **III.4. Conclusion de chapitre**

Dans cette partie nous avons présenté les différents matériaux utilisés dans cette investigation expérimentale, ainsi que leurs différentes caractéristiques physiques. Le mode opératoire, ainsi que l'optimisation des mélanges à base de la sciure de bois et le plâtre ou le ciment est présenté d'une manière détaillée. Des corps d'épreuves à base mélanges susmentionnés ont été élaborés, confectionnés et caractérisés sous un chargement de compression uni-axiale et de flexion 3-points, et l'essai ultrasonique. Les différents résultats obtenus seront présentés, illustrés et analysés dans le chapitre suivant.

## **Chapitre IV : Présentation des résultats expérimentaux et discussion**

**IV.1. Introduction :**

Dans ce chapitre, nous allons illustrer, présenter, interpréter et discuter les différents résultats des essais réalisés sur les différentes éprouvettes selon les différentes configurations, pour chaque type d'essai (destructif et non destructif).

Afin d'optimiser et sélectionner les formulations adéquates pour composites à base végétale, il est donc primordial de connaître les propriétés de ce matériau, telles que les résistances aux sollicitations données.

**IV. 2. Essais de caractérisation physiques**

**IV.2.1. la variation de la masse des composites réalisés en fonction de leur déshydratation**

**✚ Cas de composite à base du plâtre**

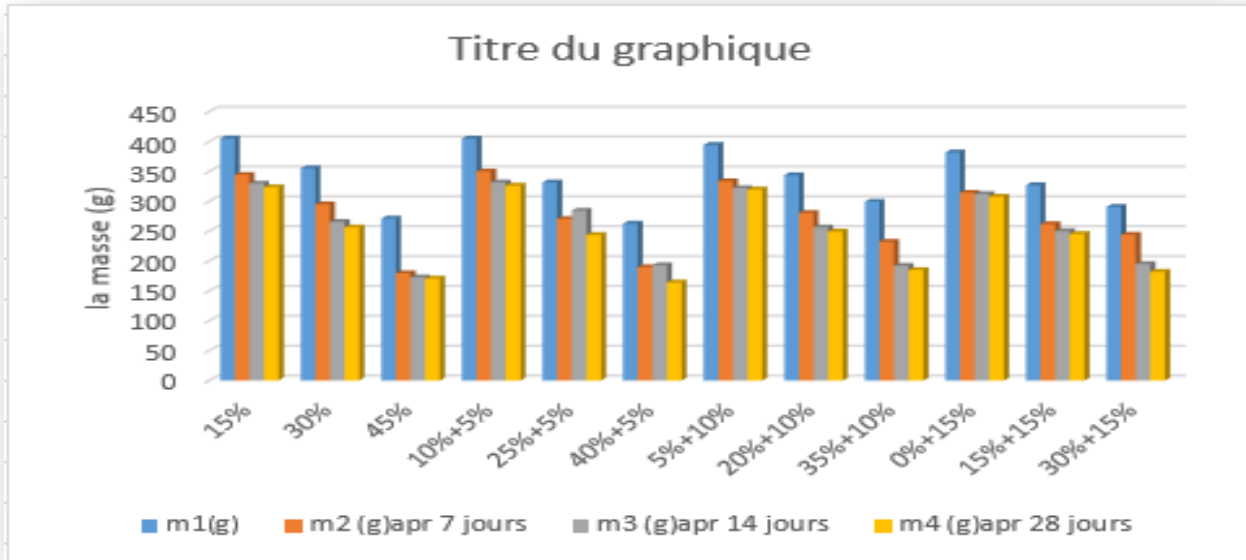


Figure IV. 1 : représentation graphique des différentes masses des composites à base de (plâtre-sciure de bois) en fonction de la déshydratation à (1, 7, 14 et 28 jours)

**✚ Cas de composites à base du ciment**

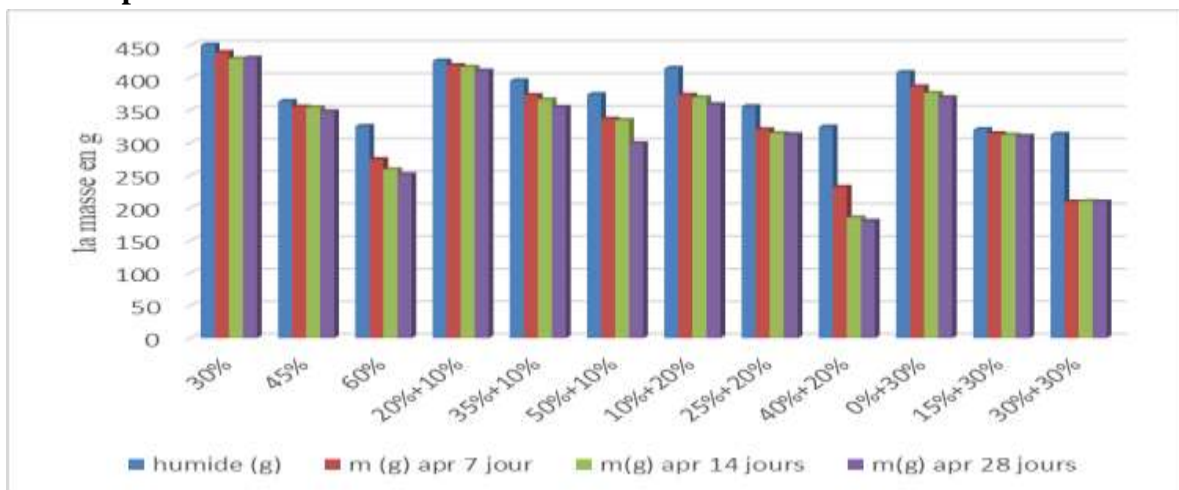


Figure IV. 2 : Représentation graphique des différentes masses des composites à base de (ciment-sciure de bois) en fonction de la déshydratation à (1, 7, 14 et 28 jours).

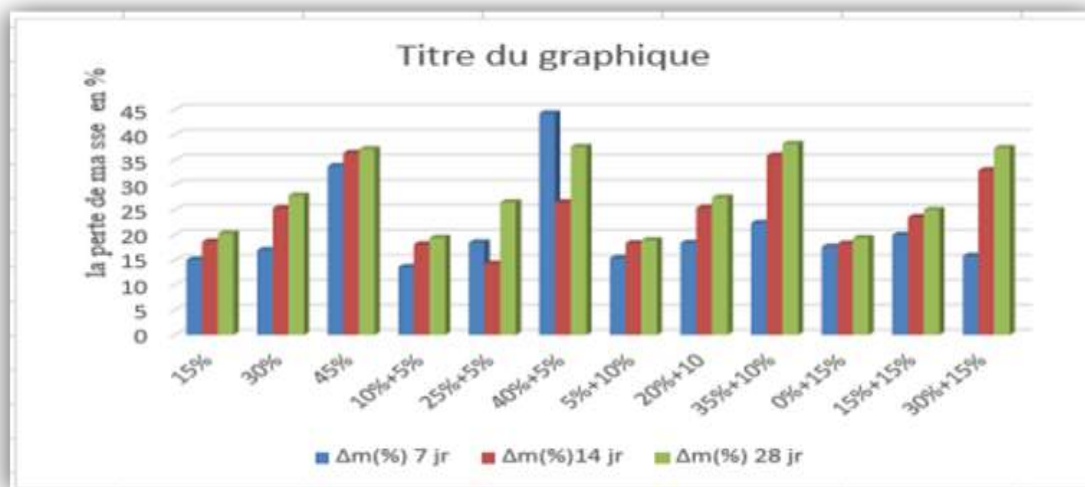
D'après les résultats obtenus, nous avons remarqué la diminution de la masse des éprouvettes à base de plâtre et la sciure de bois, tel qu'à 7 jours > 14 jours >28 jours, cette diminution due l'évaporation de l'eau absorbée par les fibres de bois et la matrice plâtre.

**IV.2.2. la variation de la perte masse des composites réalisés en fonction de leur déshydratation**

Pour calculer la perte de masse on applique la relation suivante :

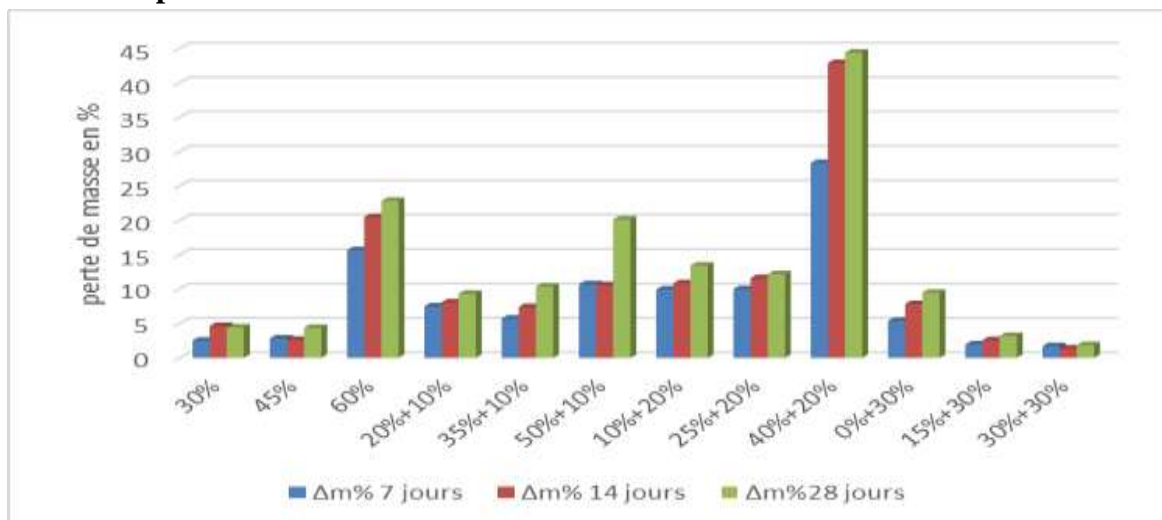
$$\Delta_m \% = \frac{m_1 - m_2}{m_1} * 100$$

**✚ Cas de composite à base du plâtre :**



**Figure IV. 3 :** Présentation graphique des pertes de masses des composites à base de (plâtre-sciure de bois) en fonction de la déshydratation à (1, 7, 14 et 28 jours).

**✚ Cas de composites à base du ciment**



**Figure IV. 4 :** Présentation graphique des pertes de masses des composites à base de (ciment-sciure de bois) en fonction de la déshydratation à (1, 7, 14 et 28 jours).

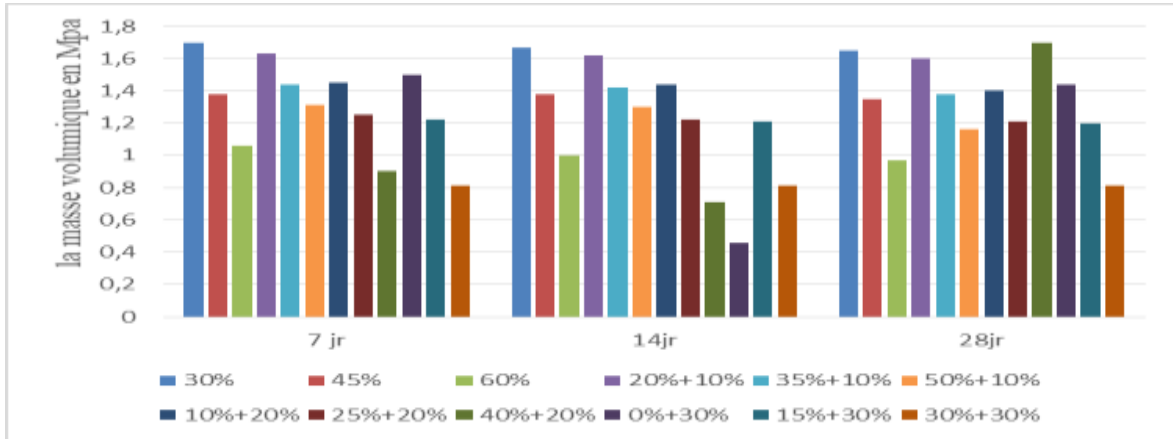
Les mélanges qui ont un dosage en sciure de bois de (45%), et (60%) et respectivement une matrice de plâtre et ciment, présentent une grande perte de masse, ce qui explique que les constituants de la sciure de bois absorbent une quantité importante d'eau, du fait qu'après l'évaporation de cette dernière, en laissant des vides intra-granulaires et interstitiels qui engendrent la diminution de la masse volumique apparente de composites réalisés.

**IV.2. 3 : Les masses volumiques apparentes des éprouvettes à 7, 14 et 28 jours (à l'état durci)**

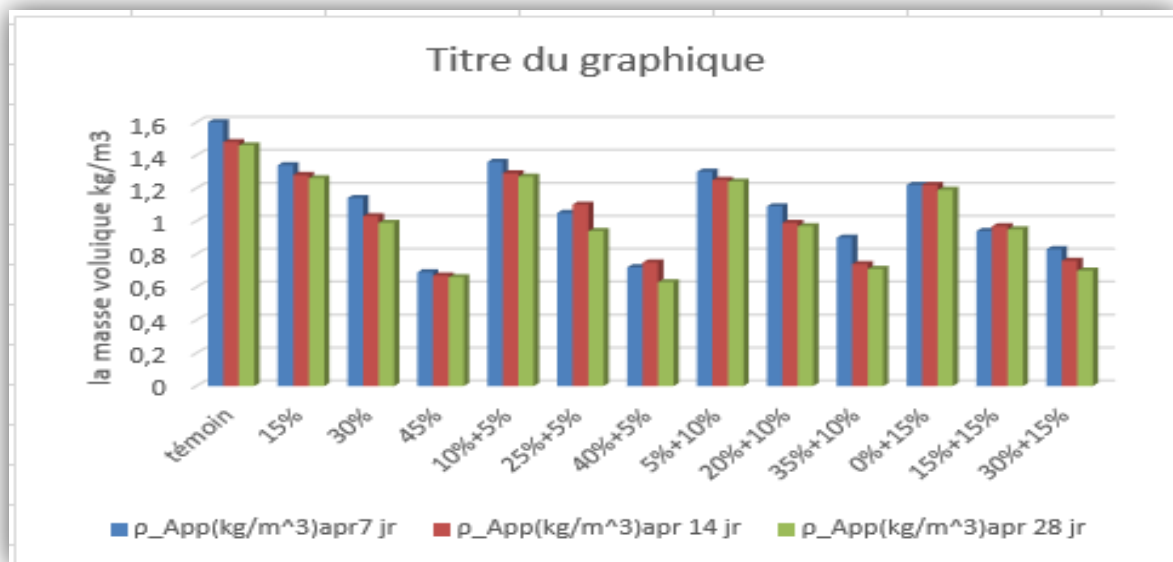
L'essai consiste à déterminer la masse volumique apparente des matériaux composites réalisés. La relation suivante définit l'équation générale de la masse volumique apparente.

$$Mv_{app} = \frac{M_{app}}{V_{app}} . \text{ Avec } Mv \text{ en (Kg/M}^3\text{)}$$

Le calcul de la masse volumique apparente des éprouvettes réalisées à partir de leurs masses mesurées à chaque fois à (7, 14,28 jour), par rapport à son volume apparent.



**Figure IV. 5 :** Histogramme de confrontation masses volumiques apparentes des éprouvettes à base de ciment-sciure de bois à (7, 14 et 28 jours).



**Figure IV. 6 :** Histogramme de confrontation masses volumiques apparentes des éprouvettes à base du plâtre-sciure de bois à (7, 14 et 28 jours).

D'après les résultats représentés sur les histogrammes ci-dessus, nous constatons que la variation de la masse volumique apparent des composites réalisés est due principalement aux dimensions et taux d'incorporation de la sciure de bois dans les matrices utilisées.

### IV.3 : Les essais de caractérisation mécaniques

#### IV.3.1 : Essai de la compression sur les composites légers réalisés

L'essai de compression était réalisé sur des éprouvette (4\*4\*4cm) au niveau de laboratoire de génie civil UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ DE BOUIRA(UAMOB) , afin de déterminer des caractéristiques mécaniques tel que module d'élasticité le contrainte et la force appliquée.

Trois essais de compression uni-axiale sur des éprouvettes cubiques (4\*4\*4 cm<sup>3</sup>) ont été réalisés pour chaque type de mélange, en prenant la moyenne entre les trois résultats obtenus.

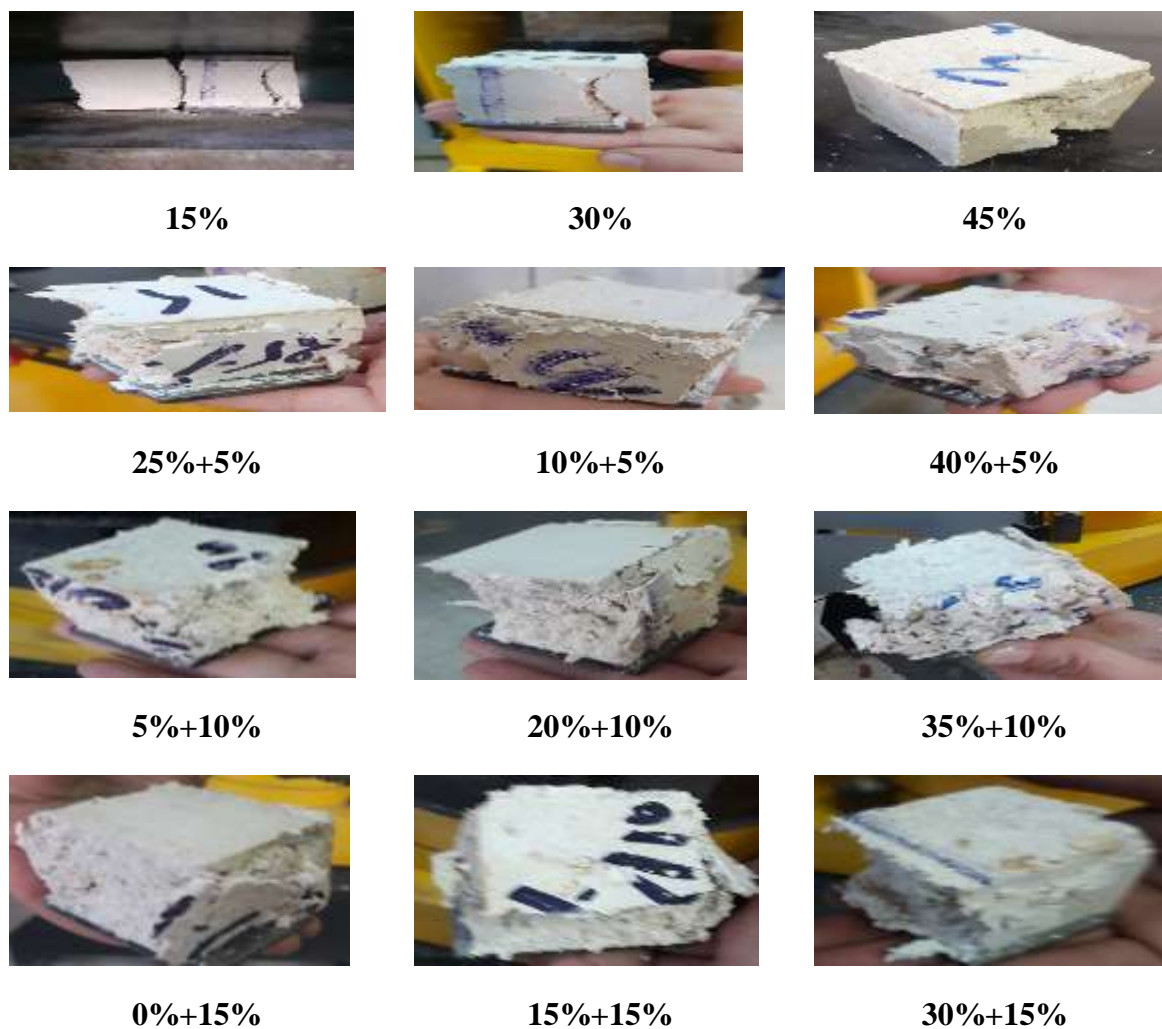
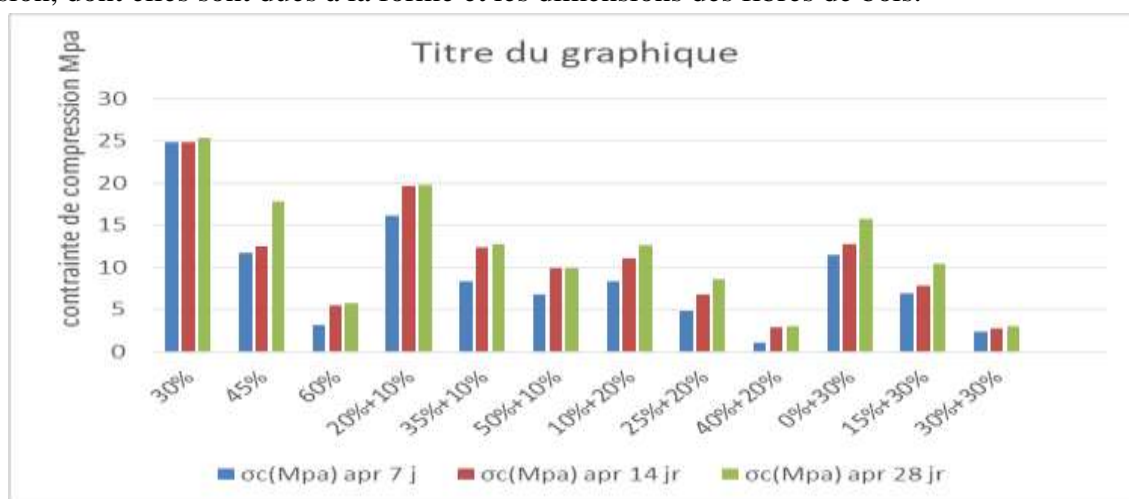


Figure IV. 7 : Modes de rupture des éprouvettes (4x4x4 cm<sup>3</sup>) à base du plâtre-sciure de bois à la compression uni-axiale.



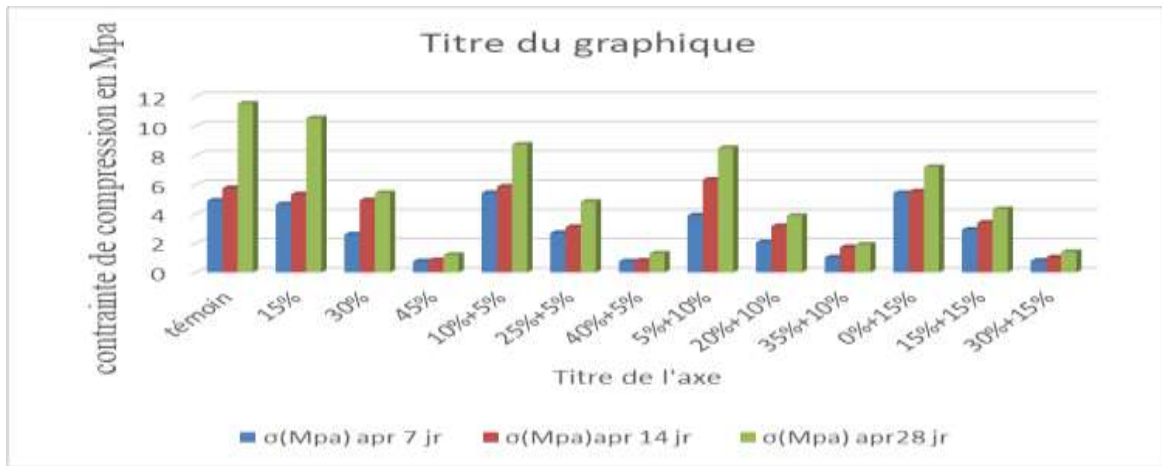
**Figure IV. 8 :** Modes de rupture des éprouvettes ( $4 \times 4 \times 4 \text{ cm}^3$ ) à base de ciment-sciure de bois à la compression uni-axiale.

D'après les modes de rupture de nos éprouvettes présentés ci-dessus, nous avons remarqué plusieurs orientations types de fissures, principalement des fissures verticales et inclinées par rapport à l'axe de compression, dont elles sont dues à la forme et les dimensions des fibres de bois.



**Figure IV. 9 :** Histogramme de confrontation des contraintes de compression des différentes éprouvettes à base de ciment-sciure de bois à (7, 14 et 28 jours).





**Figure IV. 10 :** Histogramme de confrontation des contraintes de compression des différentes éprouvettes à base du plâtre-sciure de bois à (7, 14 et 28 jours).

Il est remarquable que la résistance à la compression de nos composites est reliée directement aux taux d’incorporation de la sciure de bois dans les matrices utilisées. À titre comparatif, le composite à base de ciment-sciure de bois présente des caractéristiques mécaniques améliorées, notamment à la compression par rapport à celles du composite à base du plâtre-sciure de bois, néanmoins ce dernier a des faibles dosages en sciure de bois (15%, 30%, 45%) comparativement au deuxième composite (30%, 45%, 60%).

**IV.3.2 : Essai de la flexion sur les composites légers réalisés**

Placer le prisme dans le dispositif de flexion avec une face latérale de moulage sur les rouleaux d'appui et son axe longitudinal perpendiculaire à ceux-ci. Appliquer la charge verticalement par le rouleau de chargement sur la face latérale opposée du prisme et l'augmenter de 50 N/s ± 10 N/s, jusqu'à rupture.



Disposition de l'éprouvette

Rupture de l'éprouvette

Mode de rupture

**Figure IV. 11 :** Modes de rupture des éprouvettes (4x4x16 cm<sup>3</sup>) à base du plâtre-sciure de bois à la flexion 3-points.





Figure IV. 12 : Modes de rupture des éprouvettes ( $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ ) à base de ciment-sciure de bois à la flexion 3-points.

Avec l'augmentation des taux d'incorporation de la sciure de bois, nous avons remarqué l'apparition de différents pores inter-granulaires et surfaciques pour les deux composites réalisés. La propagation des fissurations verticales et quasi-verticales au niveau des éprouvettes due au comportement des fibres végétales au sein de nos composites.

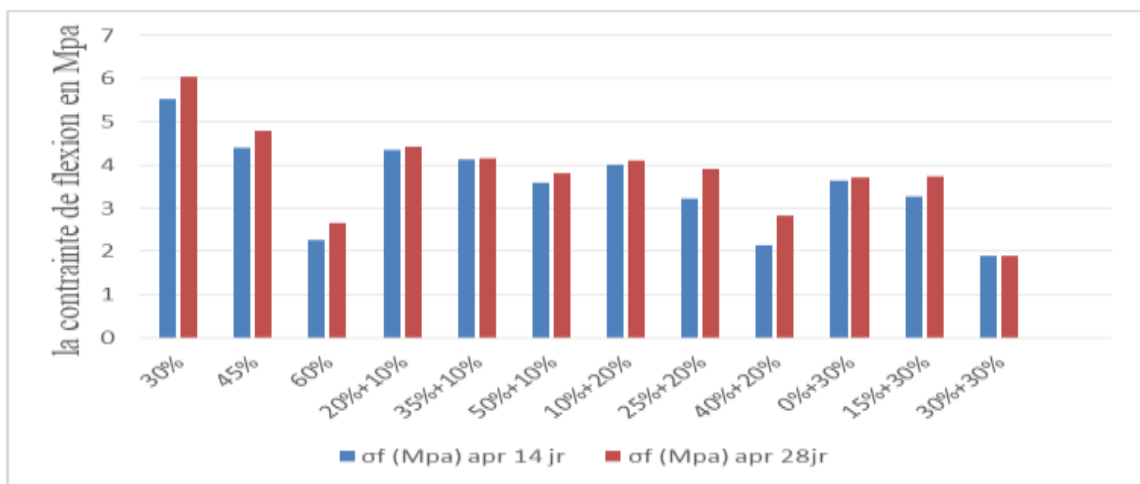


Figure IV. 13 : Présentation graphique de la contrainte de flexion des éprouvettes ( $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ ) à base de (ciment-sciure de bois)

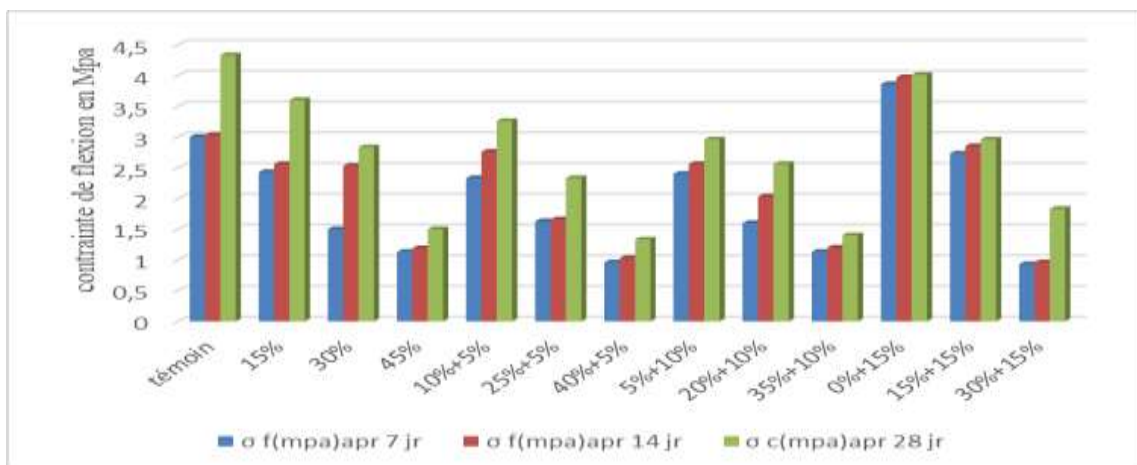


Figure IV. 14 : Présentation graphique de la contrainte de flexion des éprouvettes ( $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ ) à base de (plâtre-sciure de bois)

❖ Les mêmes remarques formulées précédemment sont valables aussi pour les résultats en flexion.

### **IV.3.3 : Interprétation des résultats**

A partir des résultats physico-mécaniques nous concluons :

L'analyse des résultats des essais physiques montre que l'augmentation des taux d'incorporations des granulats végétaux entraîne une réduction de la masse volumique des composites élaborés, principalement cette diminution due à la porosité intra-granulaire des granulats végétaux et les vides inter-granulaires formés par ces derniers dans les matrices utilisées notamment (plâtre et ciment).

Le plâtre témoin et le plâtre avec 15% (gamme 0/2) d'incorporation des agro-ressources présentent des propriétés mécaniques plus améliorées par rapport aux autres composites, et de même pour le composite à base de ciment-sciure de bois 30% (gamme 0/2), particulièrement à la flexion et à la compression.

Nous constatons que les facteurs essentiels qui participent dans la réduction des caractéristiques mécaniques sont :

- ✓ Le taux d'incorporation des fibres de bois et leurs dimensions.
- ✓ la faible adhérence entre la pâte de ciment ou le plâtre et les granulats végétaux, ce qui crée des hétérogénéités dans les matériaux étudiés et augmente la porosité.
- ✓ La faible rigidité des granulats à base végétale.
- ✓ La réduction de la classe granulaire des granulats végétaux engendre une perte de la résistance mécanique.

### **IV.4.L'ultrasonore**

#### **IV.4.1. Essai de propagation des ondes ultrasonores**

La technique ultrasonore permet de faire un contrôle discret du matériau. Les ultrasons se propagent sous formes d'ondes, qui sont des oscillations régulières au sein d'un matériau, ces ondes qui se caractérisent par un déplacement réversible et local de la matière.

La méthode d'auscultation, non destructive et simple, a été utilisée avec succès pour plus de **60** ans pour l'évaluation de la qualité des matériaux.

La technique ultrasonore permet à la fois de faire un contrôle non destructif du matériau (**CND**), mais aussi de faire une évaluation non destructive (**END**).



**Figure IV. 15 :** *Disposition de l'essai ultrasonique cas d'une éprouvette en plâtre*

L'objectif de cet essai est de mesurer la vitesse de la propagation des ondes ultrasonores à travers nos matériaux. (Ou le temps de transit d'ondes ultrasonores pulsées dans un échantillon de

*masse et d'épaisseur connues*) se propageant dans le milieu testé en transmission. Nous avons suivi les étapes suivantes :

- Equilibrage des transducteurs à l'aide d'un cylindre en plastique transparent (calibrage).
- Un agent de couplage est nécessaire entre le capteur et la surface de matériau à ausculter, afin de garantir le passage d'onde entre les deux, en utilisant généralement un gel.
- Une paire de transducteurs reliés au boîtier principal, sont utilisés, l'un en émetteur et l'autre en récepteur, les deux transducteurs sont placés de part et d'autre de l'éprouvette.
- Le boîtier est relié à l'ordinateur de qui permet un affichage en temps réel du signal reçu.

Pour la précision des résultats nous avons testé les éprouvettes dans trois points, pour chaque point trois essais.

Tableau IV. 1 : Récapitulatif des vitesses de propagation ultrasonore dans les composites à base de plâtre-sciure de bois.

Composite de plâtre		La vitesse ultrasonore (ms)	La moyenne (ms)	Le temps (s*10 <sup>-6</sup> )	La moyenne (s*10 <sup>-6</sup> )
0/2	5/10				
15%	0%	2494.33	<b>2429.44</b>	15.93	<b>16.46</b>
		2315.66		17.3	
		2478.33		16.16	
30%	0%	1969.66	<b>1895.66</b>	20.33	<b>21.15</b>
		1901		21.03	
		1816.33		22.1	
45%	0%	1470	<b>1461.44</b>	27.23	<b>27.22</b>
		1383.66		28.27	
		1530.66		26.16	
10%	5%	2347.66	<b>2355.55</b>	17.06	<b>17.00</b>
		2385		16.8	
		2334		17.16	
25%	5%	1843	<b>1891</b>	21.73	<b>21.18</b>
		1892		21.16	
		1938		20.66	
40%	5%	1490.33	<b>1434.44</b>	26.86	<b>27.99</b>
		1324.33		30.23	
		1488.66		26.9	
5%	10%	2100.66	<b>2104.66</b>	19.06	<b>19.03</b>
		2108.33		19	
		2105		19.03	
20%	10%	1823	<b>1769.44</b>	21.96	<b>22.62</b>
		1823.33		21.8	
		1662		24.1	
35%	10%	1584.66	<b>1508.99</b>	25.26	<b>26.61</b>
		1591		25.16	
		1351.33		29.43	
0%	15%	2023.33	<b>2119.77</b>	19.8	<b>18.87</b>
		2239		17.73	
		2097		19.1	
15%	15%	1865.33	<b>1847.11</b>	21.53	<b>21.72</b>
		1898		21.1	
		1780		22.53	
30%	15%	1522	<b>1434.88</b>	26.3	<b>28.04</b>
		1292.66		30.96	
		1490		26.86	

Tableau IV. 2 : Récapitulatif des vitesses de propagation ultrasonore dans les composites à base de ciment-sciure de bois.

Composite de ciment		La vitesse ultrasonore	La moyenne	Le temps (s*10 <sup>-6</sup> )	La moyenne (s*10 <sup>-6</sup> )
0/2	5/10	m/s			
30%	0%	2714	2685.99	14.76	14.91
		2701.66		14.83	
		2642.33		15.16	
45%	0%	2324.66	2244.2	17.23	17.75
		2242.33		17.53	
		2165.66		18.5	
60%	0%	1441	1675.44	27.8	24.16
		1756.66		22.8	
		1828.66		21.9	
20%	10%	2619.33	2734.77	15.3	14.67
		2883.33		13.9	
		2701.66		14.83	
35%	10%	2338.33	2447.33	17.1	16.37
		2483.33		16.13	
		2520.33		15.9	
50%	10%	2013	2125.22	19.9	18.99
		2019.66		19.97	
		2343		17.1	
10%	20%	2473.66	2538.99	16.2	15.78
		2596.33		15.43	
		2547		15.73	
25%	20%	2112	2186.66	18.96	18.32
		2193		18.26	
		2255		17.76	
40%	20%	1619	1686.66	24.73	23.90
		1887		21.23	
		1554		25.76	
0%	30%	2547	2582.99	15.76	15.51
		2562.66		15.63	
		2639.33		15.16	
15%	30%	2181.33	2256.21	18.36	17.33
		2271.66		17.66	
		2315.66		17.3	
30%	30%	1623.66	1714.88	24.66	23.45
		1880		21.3	
		1641		24.4	

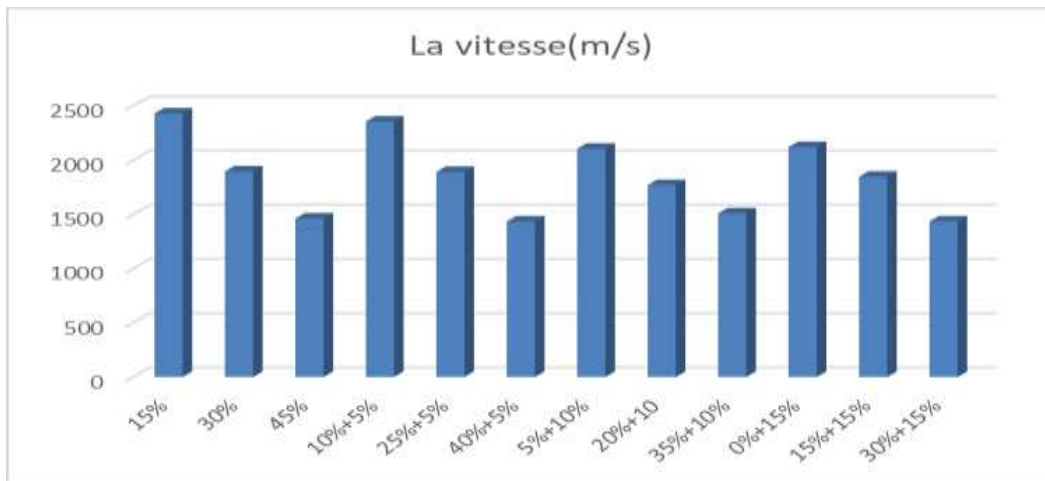


Figure IV. 16 : Représentation graphique des vitesses de propagation ultrasonore dans les composites à base de plâtre-sciure de bois.



Figure IV. 17 : Représentation graphique des vitesses de propagation ultrasonore dans les composites à base de ciment-sciure de bois.

**IV.4.2. : Observations et analyses des résultats de l’essai de propagation ultrasonore**

L’analyse des résultats précédents nous permet de conclure ce qui suit :

- Les vitesses moyennes de la propagation des ondes ultrasonores, sont presque identiques dans chaque point de l’éprouvette et pour les différents mélanges. Le rapprochement des valeurs de vitesses dans les points considérés dans une éprouvette, confirme la bonne homogénéité du mélange (bonne distribution granulaire dans les composites)
- Nous avons remarqué une faible vitesse de propagation des ondes ultrasonores au sein des éprouvettes qui ont un grand dosage des agro-ressources (45% cas des composites à base de plâtre-sciure de bois) et (60% cas des composites à base de ciment-sciure de bois) comparativement aux autres cas de mélange et aux spécimens témoins.
- La propriété acoustique d’un matériau composite est capitalement reliée à la vitesse de propagation des ondes ultrasonores au sein de ce matériau.

**IV.5.Conclusion du chapitre :**

Les différents résultats des essais réalisés nous permettent de mieux comprendre les comportements physico-mécaniques et acoustiques des matériaux étudiés. Les conclusions préliminaires formulées sont :

- L'introduction des agro-ressources dans la composition des matériaux composites entraîne une perte de la masse volumique sèche. cette réduction est beaucoup plus importante pour les composites à base d'une matrice de ciment que pour le plâtre ;
- La résistance mécanique diminue plus pour le matériau 'plâtre' que pour le ciment,
- La réduction des résistances est due essentiellement à la porosité observée dans les deux matériaux composites (ciment et plâtre) engendrée par l'incorporation des agro-ressources.

# **Conclusion générale et perspective**



## *Conclusion générale*

La possibilité de développer des matériaux composites influe directement sur les codes et les approches de calcul des structures habituellement utilisées pour les matériaux traditionnels. L'avancée technologique dans les domaines des matériaux innovants ayant des propriétés mécaniques fortes intéressantes pour les différentes applications en génie civil, doit permettre également d'assurer des performances suffisantes vis-à-vis des exigences environnementales, esthétiques, et de durabilité.

L'utilisation des matériaux naturels tels que les agro-ressources dans la construction n'est pas nouvelle en soit. Ces matériaux présentent des performances thermiques, acoustique ..... qui permettent une conception moderne à faible coût. Ces matériaux sont disponibles, à faible coût, renouvelable et recyclable.

L'isolation à base de dérivés de bois tel que la sciure, possède trois applications principales : isolation thermique, absorption acoustique et amortissement des vibrations. Les applications en construction sont diverses : Les murs intérieurs ou extérieurs des bâtiments et des plafonds, pour fournir une isolation thermique et acoustique et l'isolation de sous-revêtement. Le matériau est granulé et est utilisé dans une variété d'applications.

L'objectif est de réduire la consommation énergétique, à travers l'utilisation des matériaux naturels abondants et biodégradables, pour une meilleure isolation thermique, acoustique et phonétique. Afin d'optimiser la formulation de nos composites, il est donc primordial de connaître les propriétés des constituants de ce matériau, à cet effet, l'étude expérimentale réalisée a permis d'optimiser la formulation appropriée qui permet d'obtenir un mélange aux caractéristiques mécaniques intéressantes présentant une masse plus légère.

Les différents résultats expérimentaux obtenus montrent une nette amélioration de la résistance à la rupture, comparativement aux éprouvettes similaires à base de la matrice uniquement (plâtre et ciment). Les meilleures éprouvettes élaborées à base de différentes gammes et proportions, ayant des caractéristiques mécaniques en compression et en flexion, élevées sont définies.

Les essais au laboratoire effectués sur les différentes éprouvettes ont permis de mieux comprendre la contribution à la résistance des renforts utilisés.

A titre indicatif, d'après les résultats expérimentaux, nous avons constaté, que les essais physiques montrent que l'augmentation des taux d'incorporations des granulats végétaux entraîne une réduction de la masse volumique des composites élaborés, principalement cette diminution due à la porosité intra-granulaire des granulats végétaux et les vides inter-granulaires formés par ces derniers dans les matrice utilisées notamment (le plâtre et le ciment).

Le plâtre témoin et le plâtre avec 15% (gamme 0/2) d'incorporation des agro-ressources présentent des propriétés mécaniques plus améliorées par rapport aux autres composites, et de même pour le composite à base de ciment-sciure de bois 30% (gamme 0/2), particulièrement à la flexion et à la compression.

Afin de tirer des conclusions encore plus précises, il serait intéressant en **perspectives** de :

- ✓ Réalisation des unités de construction légère telle que la brique.
- ✓ Conduire des essais thermiques.
- ✓ Réaliser une étude théorique et numérique.

# Références bibliographiques

## **Références bibliographiques**

- [1][ANI 01]. [ANI 01]: N.Anil "composite get greener ", *Material today*, Vol 45, pp12, 2001
- [2] M. Nardin, "Interfaces fibre- matrice dans les matériaux composites. Application aux fibres végétales," *Revue des Composites et des Matériaux Avancés*, vol. 16, p. 49, 2006
- [3] : F. Zhou, G. Cheng et B. Jiang, *Effect of silane treatment on microstructure of sisal fibers*, *Applied Surface Science.*, Vol. 292, 2014 , pp 806-812.
- [4] MALHA, M. *mise en œuvre, caractérisation et modélisation de matériaux composites : polymère thermoplastique renforcé par des fibres de DOUM. Thèse de doctorat de l'université MOHAMMED V-AGDAL Rabat, 2013.*]
- [5] : G.Togonal, *matériaux composite a base de filaments de cellulose et de polyéthylène*, thèse, *l'université du Québec a Trois-Rivières*, 2016
- [6]CAL 01]: W.D. Calliste Jr., " Science et Génie des matériaux ", Edition Dunod, Mont-Royal, Québec, p. 463..2001.
- [7] : F. Dalmaso et J. Mézières, *Calcul des propriétés élastiques des tissus utilisés dans les matériaux composites*, Institut Français du Pétrole , 1998.]
- [8] TOUATI, Z. *étude d'un matériau composite à base de polypropylène renforcé par des fibres d'alfa. Mémoire de magister. Boumerdes : université M'Hamed BougaraBoumerdes, 2014.*]
- [9]A. N. SANDALI. *Comportement au choc des stratifiées composites renforcées par des fibres naturelles. Ouargla, Université KasdiMarbah . (2013).*]
- [10]: P.K. Aggarwal, *Influence of maleated polystyrene on the mechanical properties of bio-based fibers-polystyrene composites*, *Journal of the Indian Academy of Wood Science*, 8: 184–189, 2011.]
- [11] F. M. L. Rekbi, "Contribution à l'analyse de l'endommagement des matériaux composites," *Thèse de doctorat, Université Mohamed Khider- Biskra, 2016*]
- [12] : L.Berreur, Bertrand de Maillard, Stanislas Nösperger, *L'industrie française des matériaux composites*, Nodal Consultants, p17, 2002
- [13] BOUMERDASSI, K. *élaboration et caractérisation d'un composite biodégradable à matrice thermoplastique et renfort polysaccharides. Mémoire de magister. Boumerdes : univ M'Hamed Bougara de Boumerdes, 2008*
- [14] L.GORNET. *Généralités sur les matériaux composites. (version 1 - 6). (2010).*
- [15] DoanThi Thu Loan; *Investigation on jute fibres and their composites based on polypropylene and epoxy matrices; Thèse de doctorat, l'université de Dresden, 2006.*
- [16] : C. Baley, *Fibres naturelles de renfort pour matériaux composites. In: Techniques de l'ingénieur Ref: AM5 130, 2005.*

## **Références bibliographiques**

[17][NEN 09]: A. Y. Nenonene, ''Elaboration et caractérisation mécanique de panneaux de particules de tige de kénaf et de bioadhésifs à base de colle d'os, de tannin ou de mucilage'', thèse de doctorat de l'université de Toulouse, Institut National Polytechnique de Toulouse, Sciences des Agro ressources, 2009.

Avancés, vol. 16, p. 49, 2006

[18][NEN 09]: A. Y. Nenonene, ''Elaboration et caractérisation mécanique de panneaux de particules de tige de kénaf et de bioadhésifs à base de colle d'os, de tannin ou de mucilage'', thèse de doctorat de l'université de Toulouse, Institut National Polytechnique de Toulouse, Sciences des Agro ressources, 2009.

[19][MIC 03]:F. Michaud, ''Rhéologie de panneaux composites bois/thermoplastiques sous chargement thermomécanique : Aptitude post formage'' thèse Phd, univ Laval, 2003.

[20] <http://www.jute.com/green-jute/agriculture-raw-jute>. (14/09/2020).

[21] <http://www.exportasia.in/jute-fibre.htm>. (14/09/2020).

[22] <https://www.forgottentribes.fr/blogs/lifestyle/le-chanvre-le-tissu-plus-ancien-au-monde-et-le-plus-ecologique>. (14/09/2020)

[23] [http://kanirope.fr/index.php?cat=c3\\_Sisal--torsad-.html](http://kanirope.fr/index.php?cat=c3_Sisal--torsad-.html). (14/09/2020).

[24] S. Boudjaja, A. Harfouche et W. Chettah. « Contribution à l'étude de la variabilité géographique chez l'alfa (*Stipa tenacissima* L.) ». Revue de l'Institut national de la Recherche Agronomique n° 23, 2009, pp. 7-23

[25] A. Mokhtari, "Modélisation du comportement et de la rupture des composites a matrices thermoplastiques," Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri de TiziOuzou, 2016

[26][MIC 03]:F. Michaud, ''Rhéologie de panneaux composites bois/thermoplastiques sous chargement thermomécanique : Aptitude post formage'' thèse Phd, univ Laval, 2003.

[27]Slimani. « Valorisation des potentialités locales pour un habitat écologique en zone de montagne : cas de la région de Yakouren ». Mémoire de Magister, Département d'Architecture, Université Mouloud Mammeri TiziOuzou, Algérie, 2012, 126 p.[20]

[28] Nassima Sotehi thèse doctorat 2010, Caractéristiques Thermiques des Parois des Bâtiments et Amélioration de L'isolation, Constantine

[29] L. Arnaud and E. Gourlay, "Experimental study of parameters influencing mechanical properties of hemp concretes," Constr. Build. Mater., vol. 28, no. 1, pp. 50–56, Mar. 2012

[30] C. Meirhaeghe, "Etude du gisement accessible de fibres végétales à usages matériaux en France.," FRD, 2011.

[31] V. Nozahic, "Vers une nouvelle démarche de conception des bétons végétaux lignocellulosiques basée sur la compréhension et l'amélioration de l'interface Liant/Végétal. Application à des granulats de chènevotte et de tige de tournesol associés à un liant ponce/chaux," Thèse de Doctorat de l'Université Blaise Pascal, 2012.

## **Références bibliographiques**

- [32] V. Cerezo, "Propriétés mécaniques, thermiques et acoustiques d'un matériau à base de particules végétales : approche expérimentale et modélisation théorique," Thèse de Doctorat de l'ENTPE de Lyon, 2005.
- [33] T. T. Nguyen, "Contribution à l'étude de la formulation et du procédé de fabrication d'éléments de construction en béton de chanvre," Thèse de Doctorat de l'Université de Bretagne-Sud, 2010.
- [34] A. Evrard, "Transient hygrothermal behaviour of Lime-Hemp Materials," Thèse de Doctorat de l'Université Catholique de Louvain, 2008.
- [35] A.-D. Tran Le, "Etude des transferts hygrothermiques dans le béton de chanvre et leur application au bâtiment," Thèse de Doctorat de l'Université de Reims Champagne-Ardenne, 2010.
- [36] J. Chamoin, "Optimisation des propriétés (physiques, mécaniques et hydriques) de bétons de chanvre par la maîtrise de la formulation," Thèse de Doctorat de l'Université de Rennes 1, INSA Rennes, 2013.
- [37] E. P. Aigbomian and M. Fan, "Development of Wood-Crete building materials from sawdust and waste paper," *Constr. Build. Mater.*, vol. 40, pp. 361–366, Mar. 2013.
- [38] E. P. Aigbomian and M. Fan, "Development of wood-crete from treated sawdust," *Constr. Build. Mater.*, vol. 52, pp. 353–360, Feb. 2014.
- [39] [BEL 99]: A.K. Bledzki, J. Gassan, "Composites reinforced with cellulose based fibres", *Prog. Polym. Sci.* 24 221–274, 1999
- [40] C. Álvarez, F. M. Reyes- Sosa, and B. Díez, "Enzymatic hydrolysis of biomass from wood," *Microbial biotechnology*, vol. 9, pp. 149- 156, 2016.
- [41] A. Elouaer, "Contribution à la compréhension et à la modélisation du comportement mécanique de matériaux composites à renfort en fibres végétales," Thèse de doctorat, Reims, France, 2011.
- [42][DAV 06]:P.Davies, C.Morvan, O.Sire, C.Baley, 'propriétés de fibres extraites de phanérogames marines (ZOSTERA marina)', *revue des composites et des matériaux avancées*, Vol 16, pp41-48,2006.
- [43] R. Ntenga, "Modélisation multi- échelle et caractérisation de l'anisotropie élastique de fibres végétales pour le renforcement de matériaux composites," Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal- Clermont- Ferrand II; Université de Yaoundé, 2007.
- [44] L. Mohammed, M. N. Ansari, G. Pua, M. Jawaid, and M. S. Islam, "A review on natural fiber reinforced polymer composite and its applications," *International Journal of Polymer Science*, vol. 2015, 2015
- [45] :N.Dujardin, *un matériau biosource de choix : les fibres naturelles caractérisation et applications*, article, université Paris-Est-Créteil, 2014
- [46] [[AYY 76]: T.S.R Ayyar, P.K Mirihagalla. "Elephant grass fibers as reinforcing fiber", *Magazine of concrete research*, Vol, 28, N°96, 162-167, 1976.]
- [47](ACI, 1996) Pallesen, B. E. (1996). The quality of combine-harvested fibre flax for industrial purposes depends on the degree of retting. *Industrial Crops and Products* 5, 65-78.

## Références bibliographiques

[48]MERZOUZ Mouloud\* et HABITA Mohamed Fouzi Laboratoire de Génie Civil, Université Badji Mokhtar, B.P 12 Annaba, Algérie ,Afrique SCIENCE 04(2) (2008) 231 - 245 ISSN 1813-548X

[49]Tomas U. Ganiron Jr Département de génie civil, Université de l'Est, ville de Caloocan Collège d'architecture, Université Qassim, ville de Buraidah tomasuganironjr@gmail.com, Journal international des sciences et technologies avancées Vol.63, (2014), pp.73-82 <http://dx.doi.org/10.14257/ijast.2014.63.07>

[50]AA Raheem, AI Ige [www.elsevier.com/locate/job](http://www.elsevier.com/locate/job) PII: EST CE QUE JE: Référence: S2352-7102 (17) 30582-X <https://doi.org/10.1016/j.job.2018.10.014> JOBE609 Apparaître dans: Journal of Building Engineering Date de réception: 28 septembre 2017 Date de révision: 8 février 2018 Date d'acceptation: 17 octobre 2018

[51]Ehsan Ullah Khan une , b , Rao ArsalanKhushnood une , ⚡ , BalochéWaqasLatif c une NUST Institute of Civil Engineering (NICE), School of Civil and Environmental Engineering (SCEE), National University of Sciences and Technology (NUST), Sector H-12, Islamabad 44000, Pakistan b Université nationale de technologie (NUTECH), secteur I-12, Islamabad, Pakistan c Département de génie civil, Université Ryerson, Toronto, Ontario M5B 2K3, CanadaReçu le 4 décembre 2019 Reçu sous forme révisée le 4 avril 2020 Accepté le 10 mai 2020

[52][MAH 05]:T.Mahmoud, '' étude de matériaux renforcés par des fibres organique en vue de leur utilisation dans le renforcement et la réparation des ouvrages tels que les ponts '' thèse de doctorat, Institut nationale des sciences appliqués de Lyon, Génie Mécanique, 2005

[53][TON 09]: G.H.D. Tonoli, U.P. Rodriguez Filho b, H. Savastano Jr. c, J. Bras d, M.N. Belgacem d, F.A. Rocco Lahr ''Cellulose modified fibres in cementbased composites'', Composites: Part A 40 2046–2053.2009.

[54][MIC 03]:F. Michaud, ''Rhéologie de panneaux composites bois/thermoplastiques sous chargement thermomécanique : Aptitude post formage'' thèse Phd, univ Laval, 2003

[55][B. Bahjaune , b , \* , A. Elouafi c , A. Tizliouine une , LH Omari c, High School of Technology, Université Hassan II de Casablanca, BP 8012 Oasis, Casablanca, Maroc. Adresses mail: bahja.bouchra@gmail.com (B. Bahja), bophysiq@gmail.com (LH Omari). <https://doi.org/10.1016/j.job.2020.102025> Reçu le 9 septembre 2020; Reçu sous forme révisée le 8 novembre 2020; Accepté le 22 novembre 2020]

[56] A. Ashori. Review paper woodplastic composites as promising green-composites for automotive industries !Bioresource Technology, 99:4661-4667, 2008.]

[57] A.J. Michell. Wood cellulose-organic polymer composites. Composites Asia Pacific, Adelaide, 89:19-21, 1989.

[58] K.L. Pickering, G.W. Beckermann, S.N. Alam, and N.J. Foreman. Optimising industrialhemp fibre for composites. Composites : Part A, 38 :461-468, 2007

[59] [BOU 02]: P, Boustingorry, "Élaboration d'un matériau composite à matrice gypse renforcé par bois fragmenté -amélioration de la résistance au vissage de produits préfabriqué en gypse," thèse de doctorat de l'école Nationale Supérieure des Mine de Saint Etienne, Génie des procédés, 2002

## Références bibliographiques

- [60] Leick et al., (2010) Leick, S., S. Henning, P. Degen, D. Suter, et H. Rehage. (2010). *Deformation of liquid-filled calcium alginate capsules in a spinning drop apparatus. Physical Chemistry Chemical Physics* 12, 2950
- [61] ES Toberer, LL Baranowski, C. Dames, *Advances in Thermal Conductivity, Annu. Tour. Mater. Res.* 42 (2012) 179-209.
- [62] N. Burger, A. Laachachi, M. Ferriol, M. Lutz, V. Toniazzo, D. Ruch, *Review of thermal conductivité dans les composites: mécanismes, paramètres et théorie, Prog. Polym. Sci.* 61 (2016) 1-28.
- [63]. [Shanping Zhang, Yan Li et Zhuoyuan Zheng, *Effet de la structure physiochimique sur les propriétés d'absorption d'énergie des composites renforcés de fibres végétales: propriétés diélectriques, d'isolation thermique et d'absorption acoustique, Matériaux composites* <https://doi.org/10.1016/j.coco.2018.09.006>, Date de réception: 19 juin 2018 Date de révision: 17 septembre 2018 Date d'acceptation: 19 septembre 2018]
- [64][FAU 06] : J.M. Faulstich, de Paiva, E. Frollini. *Unmodified and Modified Surface Sisal Fibers as Reinforcement of Phenolic and Lignophenolic Matrices Composites: Thermal Analyses of Fibers and Composites Macromol, Material and Engineering*, 291, 2006, 405-417
- [65][CAO 06]: Y. Cao, S. Shibata, I. Fukumoto, ''Mechanical properties of biodegradable composites reinforced with bagasse fibre before and after alkali treatments'', *Composites: Part A* 37 423–429 (2006).
- [66] Chafei, S. (2014). *Influence de différents traitements sur les comportements rhéologique et mécanique d'un composite cimentaire mortier-fibres de lin (Thèse de doctorat). Université de Caen Basse-Normandie, Caen, France.*
- [67](Cérézo, 2005) Cerezo V., *Propriétés mécaniques, thermiques et acoustiques d'un matériau à base de particules végétales : approche expérimentale et modélisation théorique. Thèse Génie Civil. Lyon : Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2005, 242 p*
- [68] Sedan, D. (2007). *Etude des interactions physico-chimiques aux interfaces fibres de chanvre/ciment - Influence sur les propriétés mécaniques du composite (Thèse de doctorat). Université de Limoges, Limoges, France.*
- [69] Tai Thu Nguyen. *Contribution à l'étude de la formulation et du procédé de fabrication d'éléments de construction en béton de chanvre. Génie civil. Université de Bretagne Sud, 2010. Français. HAL Id: tel-01017510 <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01017510> Submitted on 2 Jul 2014*
- [70] Le Troedec, M. (2009). *Caractérisation des interactions physico-chimiques dans un matériau composite à base de phyllosilicates, de chaux et de fibres cellulosiques (Thèse de doctorat). Université de Limoges, Limoges, France.*
- [71] CU Atuanya, AOAI, *Caractérisation d'Okhuen (BrachystegiaNigerica) le bois comme renfort potentiel pour les composites polymères. Mater. Sci.* 2011.



### **Références bibliographiques**

[72] K. Słopiecka, P. Bartocci, F. Fantozzi, *Analyse thermogravimétrique et étude cinétique de la pyrolyse du bois de peuplier*, *Appl. Énergie* 97 (2012) 491–497 .

[73] D. Eliche-Quesada, FA Corpas-Iglesias, L. Pérez-Villarejo, FJ Iglesias-Godino, *Recyclage de la sciure de bois, de la terre usée provenant de la filtration de l'huile, du compost et des résidus de marbre pour la fabrication de briques*, *Constr. Construire. Mater.* 34 (2012) 275–284.

[74][H. Green, «Wood: Craft, Culture, History Oenguin Books», New York, (2006)

[75] J.Molimard, « Cours de mécanique expérimentale », *Ecole nationale supérieure des mines de Saint-Étienne*, 2005]

[75] JoelCugnoni, « Identification par recalage modal et fréquentiel des propriétés constitutives de coques en matériaux composites », *Thèse, Ecole Polytechnique fédérale de Lausanne*, 2005