

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA**  
**RECHERCHE SCIENTIFIQUE**  
**UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA**

**FACULTE : Technologie**

**DOMAINE : Sciences et Technologie**

**DEPARTMENT de Génie CIVIL**

**FILIERE : Génie CIVIL**

**N° : .....**

**OPTION : Matériaux**



**Mémoire présentée pour l'obtention Du**  
**diplôme de Master Académique**  
**Intitulé**

**Contribution à l'étude de matériau bio**  
**composite renforcé par déchets organiques**

**Réalisé Par :**

**Encadré Par :**

- GHEDBANE YOUNES
- BEN SALAH MOUSSA

- Dr. SAIDA BOUALLEG
- CO. Encadreur Dr. SALHI SAMI

**Année universitaire : 2023/2024**

# Remerciement

**vant tout nous remercions dieu le tout puissant qui nous a donné la force, la patience et le courage pour qu'on puisse accomplir ce modeste travail. Nous remercions profondément notre encadreur DR. SAIDA BOUALLEG Et CO encadreur. SALHI SAMI pour ses suivis et ses précieuses orientations dans notre travail et Nous voudraient vous remercier pour tous vos conseils et vos remarques intéressantes. Nous exprimons nos reconnaissances à tous personnes qui a contribué de près ou de loin à l'achèvement de ce travail ; nos enseignants, nos amis, nos collègues de faculté de technologie m'sila. Nous remercions également les membres de jury d'avoir accepté juger ce modeste travail**

## *Dédicaces*

Je dédie ce Modest travail : A mes très chers parents pour leur soutien et encouragement durant toutes mes années d'études et sans lesquels je n'aurais jamais réussi.

À mes frères et sœurs et tous leurs enfants mes chers tous et à ma famille A tous mes professeurs et enseignants que j'ai eu durant tout mon cursus scolaire et qui m'ont permis de réussir dans mes études.

A tous mes amis de l'Université Mohamed Boudiaf A toute personne ayant contribué à ce travail de près ou de loin

**Younes**

## *Dédicaces*

*Je dédie ce Modest travail : A mes très chers parents pour leur soutien et encouragement durant toutes mes années d'études et sans lesquels je n'aurais jamais réussi.*

*À mes frères et sœurs et tous leurs enfants mes chers tous et à ma famille A tous mes professeurs et enseignants que j'ai eu durant tout mon cursus scolaire et qui m'ont permis de réussir dans mes études.*

*A tous mes amis de l'Université Mohamed Boudiaf A toute personne ayant contribué à ce travail de près ou de loin*

**MOUSSA**

## Sommaire

INTRODUCTION générale .....	01
<b>Chapitre 1 : Généralité sur les fibres végétales</b>	
I.1. Introduction.....	04
I.2. Fibres végétales .....	05
I.2.1. Définition de la fibre végétale.....	05
I.2.2. La classification des fibres végétales .....	05
I.2.3. Morphologie de la fibre végétale .....	05
I.3 Effet de la morphologie, de la structure et de la composition chimique sur les propriétés mécaniques de la fibre végétale .....	07
I.3.1 Effet de la morphologie des fibres végétales .....	07
I.3.2. Effet de la structure des fibres végétales .....	07
I.3.4 Effet de la composition chimique des fibres végétales sur leurs propriétés mécaniques	09
I.4 Structure et composition des fibres naturelles d'origine végétale .....	09
I.4.1 Structure de la fibre végétale .....	09
I.5 Composition chimique des fibres végétales .....	10
I.6 Propriétés mécaniques de la fibre végétale .....	13
I.7 synthèse des travaux sur les fibres végétales .....	14
I.7.1 Caractérisation d'une nouvelle fibre cellulosique naturelle issue de <i>Juncus effusus</i> L....	14
I.7.2 Caractérisation de nouvelles fibres cellulosiques naturelles brutes et alcalines de <i>Coccinia grandis</i> .....	16
I.7.3 Synthèse et caractérisation de la fibre cellulosique du pédoncule de la banane rouge comme renfort pour applications potentielles .....	17
I.7.4.1 Extraction du tissu de l'arbre .....	18
I.7.5 Caractérisation d'une nouvelle fibre cellulosique naturelle issue de la tige de <i>Cissusquadrangularis</i> .....	18
I.7.6 Distribution de Weibull uni- et bimodale pour analyser la résistance à la traction des fibres Diss .....	20
I.7.7 Traction de fibre et mesure des déformations en champ complet. Application à la fibre de lin .....	22

I.7.8 Nouvelle approche pour la caractérisation mécanique des fibres naturelles .....	24
I.8 GENERALITES SUR LE PALMIER DATTIER .....	25
I.8.1 Utilisations des palmiers .....	27
I.8.2 Répartition géographique en Algérie .....	28
I.9. Conclusion .....	28

## **Chapitre 2 : brique de terre**

I.1. Introduction .....	31
I.2.Type de brique .....	31
I.2.1. Briques de terre crue .....	31
I.2.1.1. La adobe .....	32
I.2.1.2. Les pisés .....	32
I.2.1.3 Les blocs de terre comprimée .....	33
I.2.2. Briques de terre cuite .....	33
I.2.2.1. Mode de fabrication .....	33
I.2.2.2. Briques ordinaires .....	35
I.2.2.3. Briques creuses de terre cuite .....	35
I.3.Les avantage et les inconvenant .....	36
I.3.2. Les inconvenant .....	37
I.4.Les caractéristiques sur les briques .....	37
I.4.1. les Caractéristiques des briques de terre crue (adobe, pisé, Brique de terre comprimée) .....	37
I.4.2. Caractéristiques de brique de terre cuite .....	38

## **Résultats et interprétation**

II.2. Argile .....	40
II.2.1 les essais suivants sur l'argile .....	40
II.2.2 Formulation expérimentale d'argile pour confection de la brique .....	40
II.2.2.1. Les différentes compositions utilisées .....	40
II.2.2.2 Les étapes de confection d'une éprouvette .....	41

III.1 Conclusion .....	42
<b>L'étape expérimentale .....</b>	<b>42</b>
<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>52</b>
<b>Référence .....</b>	<b>55</b>

# Listes des figures

## Chapitre 1

<b>Figure I.1</b> : Image de microscopie optique d'une coupe longitudinale et transversale .....	06
<b>Figure I.2</b> : structure de la fibre de lin .....	07
<b>Figure I.3</b> : Exemples de défauts des fibres de lin .....	08
<b>Figure I.4</b> : Variation du module d'Young axial avec l'angle micro fibrillaire de fibre simple .....	09
<b>Figure. I.5</b> : Schéma des parois d'une fibre de lin .....	10
<b>Figure. I.6</b> : Composition chimique de quelques plantes à fibres .....	12
<b>Figure. I.7</b> : Photographies de (a) plante JE, (b) tige de plante JE, (c) coupe transversale de la tige (d) fibres extraites de la tige .....	15
<b>Figure. I.8</b> : Micrographies MEB de (a) la coupe transversale et (b) la vue longitudinale de la fibre JE. (c) et (d) correspondent à un zoom de la coupe transversale et de la vue longitudinale, respectivement, de la fibre JE .....	16
<b>Figure. I. 9</b> : (a) <i>Coccinia grandis</i> .L plante, fruit et fleur, (b) rouissage à l'eau, coupe transversale vue de la tige et des faisceaux de fibres internes, (c) Fibres internes retenues (après rouissage), (d) lavage dans de l'eau propre, (e) Séchage (lumière du soleil), (f) CGF .....	17
<b>Figure. I.10</b> : Bananier rouge, pédoncule de bananier rouge, pédoncules en cours de rouissage et fibres extraites. ....	18
<b>Figure I. 11</b> : Micrographies électroniques à balayage du tissu de <i>Grewia tilifolia</i> - (a) et (b) pour les tissus non traités et (c) et (d) pour les tissus traités à 5% de NaOH à différents grossissements .....	19
<b>Figure.I.12</b> : Micrographies optiques polarisées de (a) tissus <i>Grewia tilifolia</i> non traités et (b) traités à 5% de NaOH .....	20
<b>Figure. I. 13</b> : Plante de <i>Cissus quadrangularis</i> avec sa fibre de tige extraite .....	21
<b>Figure. I. 13</b> : Coupe transversale microscopique optique de la tige .....	21
<b>Figure .I.14</b> : Schéma d'une éprouvette de fibre .....	22
<b>Figure. I .16</b> : Plusieurs zones d'une fibre de lin observées avec le même grandissement ....	24
<b>Figure. I .17</b> : Photo de la machine de micro-traction .....	24
<b>Figure. I.18</b> : Présentation schématique d'un palmier dattier .....	26

**Figure. I.19:** photographie des fibres extraites du palmier dattier branches et utilisé dans ce travail. .... 26

**Figure. I.20 :** Répartition géographique des palmiers dattier dans l'Algérie ..... 28

## **Chapiter 2**

**Figure I.21 :** Brique pleines et perforées ..... 35

**Figure I.22 :** : Briques creuses de terre cuite à perforation verticale type G et perforation horizontale ..... 36

**Figure IV-1 :** La masse volumique en fonction du type d'argile sans fibre de palmier. .... 36

**Figure IV-2. :** La masse volumique en fonction du type d'argile avec 0.5% fibre de palmier ..... 43

**Figure IV-3 :** La masse volumique en fonction du type d'argile avec 1% fibre de palmier... 44

**Figure IV-4 :** La masse volumique en fonction du type d'argile avec et sans fibre ..... 44

**Figure IV-5 :** La résistance à la compression en fonction du type d'argile sans fibre de palmier ..... 45

**Figure IV-6 :** La la résistance à la compression en fonction du type d'argile avec 0.5% fibre de palmier..... 46

**Figure IV-7.** La résistance à la compression en fonction du type d'argile avec 1% fibre de palmier ..... 47

**Figure IV-8.** La résistance à la compression en fonction du type d'argile avec et sans fibre de palmier ..... 47

**Figure IV-9** La porosité en fonction du type d'argile sans fibre de palmier ..... 48

**Figure IV-10 :** La porosité en fonction du type d'argile avec 0.5% fibre de palmier ..... 49

**Figure IV-11 :** La porosité du type d'argile avec 1% fibre de palmier ..... 49

**Figure IV-12 :** La porosité en fonction du type d'argile avec et sans fibre de palmier ..... 50

## Listes des tableau

### *Chapitre 1*

<b>Tableau I. 1</b> : Propriétés morphologiques de quelques fibres végétales .....	06
<b>Tableau .I.2</b> : <i>Composition chimique de quelques plantes à fibres</i> .....	12
<b>Tableau I.3</b> : <i>Propriétés mécaniques des fibres naturelles en comparaison avec des fibres de renforcement conventionnelles</i> .....	14
<b>Tableau. I. 4</b> : <i>Résultats validés pour trois séries d'essais sur 10 échantillons testés par série</i> .....	24

### *Chapiter 2*

<b>Tableau I.1</b> : <i>les Caractéristiques des briques de terre crue (adobe, pisé, Brique de terre comprimée)</i> .....	38
<b>Tableau I 2</b> : <i>les Caractéristiques des briques de terre cuite (briques creuses ,ordinaires)</i> .....	38

## Résumé

La région de M'sila est une région semi-désertique dans laquelle le sol est diversifié, car on le trouve en abondance dans la nature sous forme de montagnes ou de steppes, et son côté sud est également parsemé d'oasis de palmiers. Comme dans d'autres régions d'Algérie, les matériaux de construction prédominants sont le béton et le mortier ou la brique artificielle.

Dans un souci de fabriquer des briques en terre ayant de bonnes propriétés mécaniques a fait l'objet de cette étude.

L'étude porté sur des briques en terre (argile) choisi comme matériau de référence au quel nous avons associé, les fibres de palmier.

Nous avons fait varier le pourcentage de de argile vert et l'argile rouge de 100% à 25% et celui de la fibre de 0% à 1% en masse. Nous avons construire quelques prototypes réalisés par des briques en terre remplis du la terre crue avec différentes pourcentage de fibre les fibres utilisé c'est les fibres des palmiers en a les choisi En raison de leur abondance et de leur facilité d'extraction et pour leur comportement mécanique par rapport à les autres fibres et ils ne sont pas besoin de traitement chimique.

Les résultats ont montré que l'augmentation en % de fibre est bénéfique pour L'amélioration. Des propriétés mécaniques.

Nous avons obtenus le meilleur résultat dans le brique que ayant le dosage de 50% argile vert et 50% argile rouge avec 0.5% fibre des palmiers.

**Mots-clés** : fibres de palmier, argile rouge, traitement alcalin, argile vert. Composite

## **Abstract**

The M'sila region is a semi-desert region in which the soil is diverse, as it is found abundantly in nature as mountains or steppes, and its southern side is dotted with palm oases

As in other regions of Algeria, the predominant construction materials are concrete and mortar or artificial brick.

In order to manufacture earthen bricks with good mechanical properties, this study was the subject of this study.

The study focused on earthen bricks (clay) chosen as a reference material with which we associated, palm fibers.

We varied the percentage of green clay and red clay from 100% to 25% and that of fiber from 0% to 1% by mass. We built some prototypes made with earth bricks filled with raw earth with different percentages of fiber. The fibers used were palm tree fibers. We chose them because of their abundance, their ease of extraction and for their mechanical behavior compared to other fibers, and they do not need chemical treatment.

The results showed that the increase in % fiber is beneficial for Improvement. Mechanical properties.

We obtained the best result in brick with a dosage of 50% green clay and 50% red clay with 0.5% palm fiber.

**Keywords:** palm fibers, red clay, alkaline treatment, green clay. Composite.

## ملخص

منطقة المسيلة منطقة شبه صحراوية تتنوع فيها التربة، فهي تتواجد بكثرة في الطبيعة كالجبال أو السهوب، كما تنتشر في جانبها الجنوبي واحات النخيل كما هو الحال في مناطق أخرى من الجزائر، فإن مواد البناء السائدة هي الخرسانة والملاط أو الطوب الاصطناعي. من أجل تصنيع الطوب الترابي ذو الخواص الميكانيكية الجيدة كانت هذه الدراسة موضوع هذه الدراسة.

ركزت الدراسة على الطوب الترابي (الطين) الذي تم اختياره كمادة مرجعية ارتبطت به ألياف النخيل.

وقمنا بتغيير نسبة الطين الأخضر والطين الأحمر من 100% إلى 25% ونسبة الألياف من 0% إلى 1% بالكتلة. قمنا ببناء بعض النماذج الأولية المصنوعة من الطوب الترابي المملوء بالتراب الخام بنسب مختلفة من الألياف. وكانت الألياف المستخدمة هي ألياف النخيل، وقد اخترناها لكثرتها وسهولة استخلاصها ولسلوكها الميكانيكي مقارنة بالألياف الأخرى لا تحتاج إلى معالجة كيميائية. وأظهرت النتائج أن زيادة نسبة الألياف مفيدة تحسين الخصائص الميكانيكية. حصلنا على أفضل نتيجة في الطوب بجرعة 50% طين أخضر و 50% طين أحمر مع 0.5% ألياف النخيل.

**الكلمات المفتاحية:** ألياف النخيل، الطين الأحمر، المعالجة القلوية، الطين الأخضر. مركب.

# **Introduction**

## **générale**

# INTRODUCTION GENERALE

---

## Introduction générale

Les matériaux composites renforcés par des déchets organiques représentent une avenue prometteuse dans le domaine de l'ingénierie des matériaux. Ces matériaux combinent des matrices polymériques avec des renforts provenant de déchets organiques, offrant ainsi une solution doublement bénéfique pour l'environnement et l'industrie. La recherche et le développement dans ce domaine visent à optimiser les propriétés mécaniques, thermiques et environnementales de ces bio composites, tout en explorant leur applicabilité dans divers secteurs industriels tels que l'automobile, la construction et l'emballage. Cette étude vise à explorer et à améliorer la compréhension des interactions complexes entre les composants organiques et polymériques, afin de promouvoir l'innovation durable et de réduire l'empreinte écologique des matériaux traditionnels.

Les briques de terre renforcées par des fibres de palmier représentent une avancée significative dans le domaine des matériaux de construction durables. Ce matériau composite combine la terre, un matériau abondant et peu coûteux, avec des fibres de palmier, offrant ainsi une alternative écologique et économique aux briques conventionnelles. Les fibres de palmier, extraites des résidus agricoles ou des déchets de palmiers, renforcent la structure des briques tout en améliorant leurs propriétés mécaniques et leur résistance aux contraintes.

La recherche dans ce domaine vise à optimiser la composition des mélanges de terre et de fibres de palmier, afin d'améliorer la durabilité, la résistance à la compression et la résistance aux intempéries des briques. Ces matériaux sont particulièrement pertinents dans les régions où la terre est abondante et où les ressources pour la construction sont limitées. En outre, ils contribuent à réduire l'empreinte carbone associée aux matériaux de construction traditionnels en utilisant des ressources locales et renouvelables.

Cette étude exploratoire cherche à approfondir notre compréhension des propriétés physiques et mécaniques des briques de terre renforcées par des fibres de palmier, tout en explorant leur applicabilité dans la construction durable et écologique à l'échelle mondiale.

## INTRODUCTION GENERALE

---

**Les objectifs de la recherche sur les briques de terre renforcées par des fibres de palmier sont multiples et visent à améliorer divers aspects techniques, environnementaux et économiques :**

1. **Amélioration des propriétés mécaniques :** L'un des principaux objectifs est d'augmenter la résistance mécanique des briques de terre en les renforçant avec des fibres de palmier. Cela inclut la résistance à la compression, la résistance à la flexion et la résistance aux chocs, afin de garantir une durabilité et une sécurité accrues dans les applications de construction.

2. **Optimisation de la durabilité :** En intégrant des fibres de palmier dans les briques de terre, l'objectif est d'améliorer la résistance aux intempéries, la durabilité à long terme et la résistance aux fissures. Cela permet de prolonger la durée de vie des structures construites tout en réduisant les besoins en entretien et en réparation.

3. **Réduction de l'empreinte environnementale :** Utiliser des matériaux locaux comme la terre et les fibres de palmier provenant de résidus agricoles contribue à réduire l'empreinte carbone associée à la fabrication et au transport des matériaux de construction. L'objectif est de promouvoir une construction durable en minimisant l'utilisation de ressources non renouvelables et en réduisant les déchets de construction.

4. **Accessibilité et coût :** Les briques de terre renforcées par des fibres de palmier visent à être une solution économique pour les populations à faible revenu, en utilisant des matériaux abordables et facilement accessibles localement. Cela peut contribuer à la construction de logements abordables et durables dans les régions rurales et urbaines défavorisées.

5. **Recherche et développement :** L'objectif de la recherche est également d'approfondir la compréhension des interactions entre la terre et les fibres de palmier, afin d'optimiser les formulations de mélanges et les techniques de fabrication. Cela comprend l'étude des propriétés physiques, chimiques et thermiques pour améliorer la performance globale des briques de terre renforcées.

En résumé, les objectifs de la recherche sur les briques de terre renforcées par des fibres de palmier convergent vers la création de matériaux de construction durables, économiques et respectueux de l'environnement, adaptés aux besoins variés des communautés à travers le monde.

# **Chapitre I**

## **Généralités sur Les fibres**

**I.1. Introduction**

Les fibres naturelles se présentent dans la nature sous trois types : végétal (provenant des plantes à fibres), animal, et minéral. Parmi celles-ci, nous faisons largement usage des fibres de coton, de lin, de chanvre, ainsi que de sisal, de jute, de kénaf ou de coco, en fonction du domaine d'application.

L'utilisation industrielle des fibres naturelles présente plusieurs avantages, notamment la réduction des coûts et du poids des pièces, ainsi que l'amélioration des perspectives de recyclage et de l'impact environnemental, notamment dans le secteur automobile. Dans le domaine de la construction, l'intérêt est à la fois économique et technique, avec des niveaux d'isolation thermique nettement supérieurs à ceux des matériaux conventionnels. Les fibres végétales se distinguent des fibres de verre par leurs propriétés mécaniques spécifiques élevées, résultant d'une faible densité. Cela se traduit, dans les applications structurelles, par un gain de masse et donc par une économie d'énergie. De plus, les fibres végétales ont l'avantage d'être d'origine biologique et certaines sont disponibles de manière annuelle.

Les composites continuent de se développer vers des produits qui sont soit les moins coûteux possibles, soit les plus performants, voire les deux à la fois. Dans un souci de préservation de l'environnement et de la santé publique, les composites intègrent de plus en plus un caractère écologique. Pour réduire le coût élevé des fibres traditionnelles (telles que le carbone, le verre et l'aramide), de nouveaux composés ont été développés. Les recherches se sont orientées vers les composites renforcés par des fibres naturelles, combinant de bonnes propriétés mécaniques avec une faible densité. Ces composés offrent un certain nombre d'avantages bien connus, notamment en termes de coût, de disponibilité des ressources renouvelables, de biodégradabilité, etc.... [1]

## I.2. Fibres végétales

### I.2.1. Définition de la fibre végétale

Les fibres lignocellulosiques, structures biologiques fibrillaires d'origine végétale, sont principalement composées de cellulose, d'hémicelluloses et de lignine, avec des proportions relativement faibles d'autres constituants tels que les extractibles non azotés, la matière protéique brute, les lipides et la matière minérale [2]. La répartition de ces composants varie considérablement en fonction de l'espèce végétale, de son stade de développement et de ses organes.

### I.2.2. La classification des fibres végétales

Est complexe en raison des multiples critères qui peuvent être utilisés pour les différencier. Selon l'organe végétal d'origine, on distingue les fibres de tiges (comme le kéraf, le jute, le lin, la ramie, etc.), de feuilles (comme le sisal, l'abaca, la paille de graminées, etc.), de fruits (comme la noix de coco) et de graines (comme le coton, le kapok, etc.).

En fonction de leur composition en holocellulose (cellulose et hémicelluloses) et en lignine, on peut les diviser en fibres ligneuses (issus de matériaux ligneux durs tels que le bois d'œuvre, les résidus de l'industrie du bois, etc.) et en fibres non ligneuses (provenant de végétaux annuels moins riches en lignine, comme le kéraf, le chanvre, le sisal, le jute, le lin, etc.). Les fibres ligneuses sont principalement utilisées dans la fabrication de panneaux de particules.

Du point de vue de leur longueur, on distingue les fibres longues (ou libériennes), qui sont généralement douces et proviennent des tiges ou des écorces de plantes annuelles, et les fibres longues lignocellulosiques issues des feuilles, des troncs d'arbres, des enveloppes de fruits, etc., qui sont plus rigides en raison de leur teneur élevée en lignine. Les fibres courtes, ou étoupes, sont associées aux fibres longues.

Un cas particulier est celui des fibres longues issues des poils de la graine de coton, qui sont monocellulaires et composées presque exclusivement de cellulose.

### I.2.3. Morphologie de la fibre végétale

Sur le plan morphologique, la fibre végétale présente une variabilité très importante en fonction de leur origine. En effet, les dimensions des fibres végétales dépendent de l'espèce **(figure I.1)**

Et au sein de la même espèce, de l'organe de provenance, de l'état de maturité et aussi des conditions environnementales de croissance de la plante. [2]

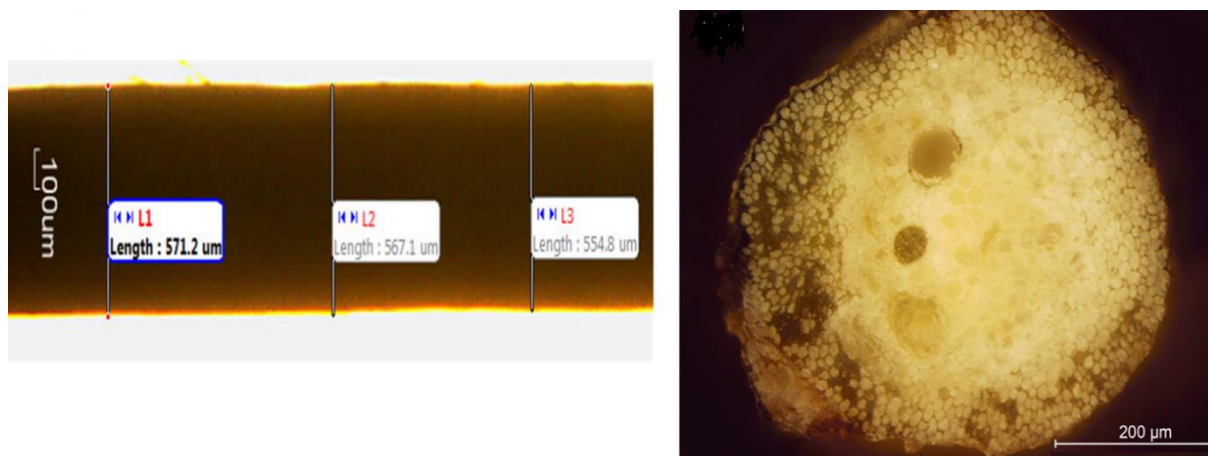


Figure I.1 : Image de microscopie optique d'une coupe longitudinale et transversale.

[29].

<i>Nature des fibres</i>	<i>Longueur (mm)</i>	<i>Diamètre (µm)</i>	<i>Angle microfibrillaire (°)</i>	<i>Ratio L<sub>f</sub>/d<sub>f</sub></i>
<i>Lin</i>	4 - 77	5 - 76	10	1 687
<i>Chanvre</i>	5 - 55	10 - 51	6.2	960
<i>Ramie</i>	40 - 250	16 - 126	7.5	3500
<i>Kéna (filasse)</i>	1.4 - 5	14 - 23	-	124
<i>Kéna (bois)</i>	0.4 - 1.1	18 - 37	-	20
<i>Jute</i>	-	25 - 200	8	110
<i>Sisal</i>	0.8 - 8	7 - 47	20	100
<i>Noix de coco</i>	0.3 - 1	12 - 24	45	35
<i>Pin</i>	2.7 - 4.6	32 - 43	-	97
<i>Sapin</i>	2.7 - 4.6	32 - 43	-	97
<i>Tremble</i>	0.7 - 1.6	20 - 30	-	48

Tableau I. 1 : Propriétés morphologiques de quelques fibres végétales [3].

La fibre végétale se caractérise aussi par la variabilité de l'épaisseur de sa paroi cellulaire qui découle de celle de la porosité des fibrilles. La porosité des fibrilles (rapport du diamètre du lumen par le diamètre total de la fibre) déterminant du caractère hygrophile de la fibre végétale peut diverger dans de larges proportions. Par exemple le lin a une porosité de 6,8 % ± 3,5 %, et la fibre de palmier, une porosité de 10 % alors que celle du coton peut être supérieure à 90 %. [2]

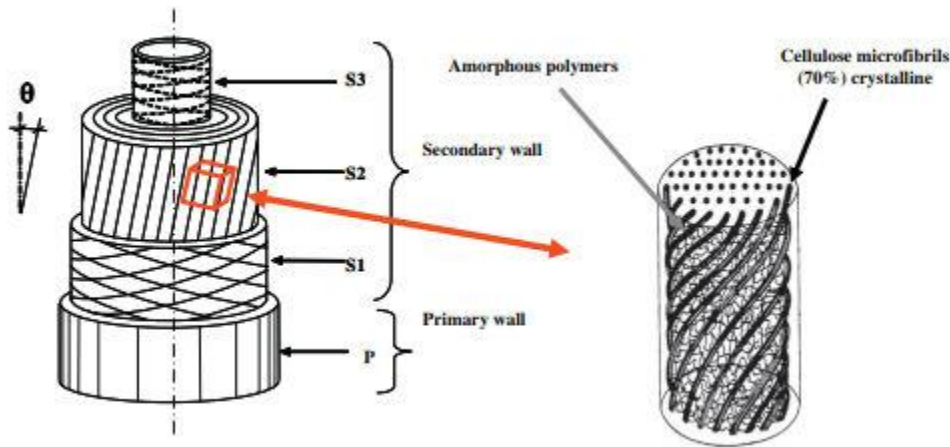


Figure I.2 : structure de la fibre de lin [28].

### I.3 Effet de la morphologie, de la structure et de la composition chimique sur les propriétés mécaniques de la fibre végétale

La grande variabilité constitutive et anatomique de la fibre végétale implique une variabilité de leurs propriétés mécaniques.

#### I.3.1 Effet de la morphologie des fibres végétales

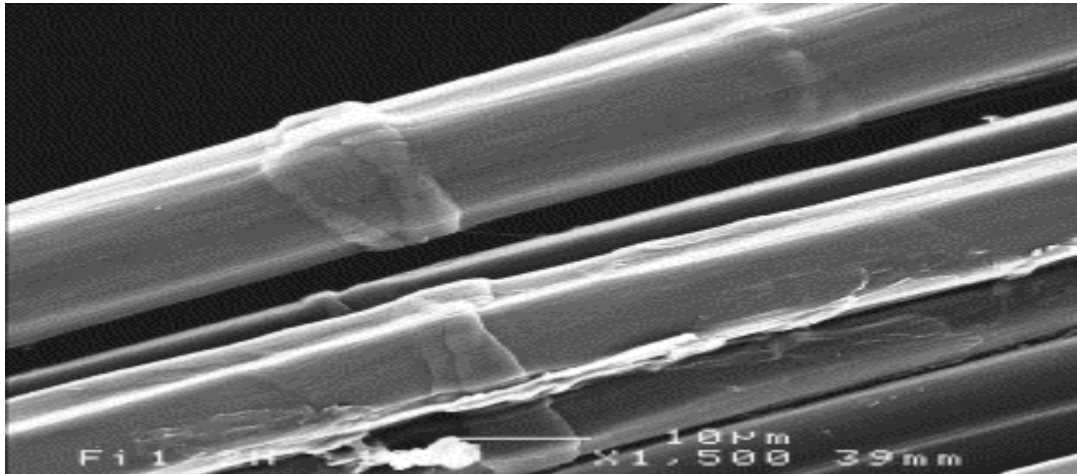
Les caractéristiques telles que la masse volumique, la longueur, le facteur de forme et la porosité (diamètre du lumen) sont des paramètres qui influent sur les propriétés mécaniques des fibres végétales. En effet, bien que la faible masse volumique des fibres lignocellulosiques confère à ces matériaux des propriétés mécaniques spécifiques intéressantes, les fibres longues présentent généralement des contraintes en traction plus faibles que les fibres courtes. Cela est dû au fait que les fibres longues ont davantage de chances de contenir des défauts de formation. De plus, la taille des particules ou des fibres [3,4].

#### I.3.2. Effet de la structure des fibres végétales

Les fibres végétales présentent une grande variabilité interspécifique et intra spécifique de leurs propriétés mécaniques, dépendant de facteurs tels que l'espèce végétale, l'organe d'origine des fibres, la proportion de cellulose-hémicelluloses-lignine, le degré de polymérisation et la cristallinité de la cellulose, l'angle micro fibrillaire, ainsi que les défauts structuraux, entre autres.

La cellulose cristalline se distingue comme l'un des polymères ayant le module d'élasticité le plus élevé, se situant entre 90 et 137 GPa, comparé à celui de la fibre de verre qui est de 75 GPa [5]. Par conséquent, un indice de cristallinité élevé de la cellulose dans une fibre est un indicateur de ses propriétés mécaniques élevées.

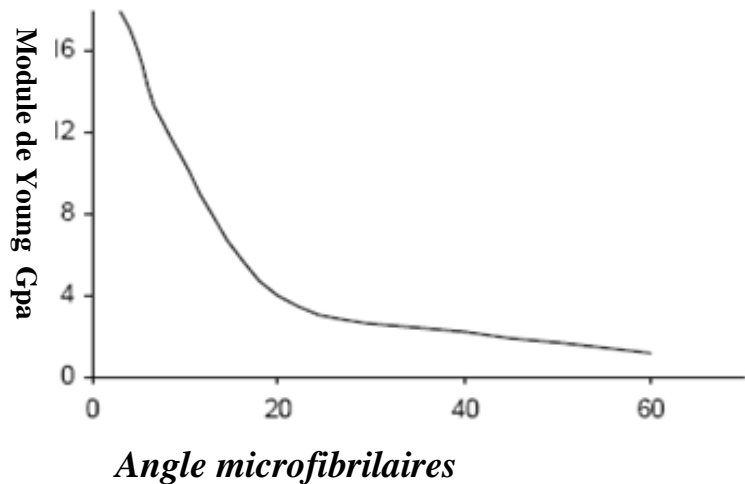
Les fréquents défauts structuraux observés à la surface des fibres, comme illustré dans la figure I.3, sont dus à la grande variabilité de morphologie, de composition chimique, de structure et de comportement mécanique spécifique de ces fibres. Ces défauts se forment en réponse aux différents stress subis par les plantes tout au long de leur vie.



*Figure I.3* : Exemples de défauts des fibres de lin [27].

La masse volumique de la fibre végétale est généralement assez basse, variant entre 1,2 et 1,5 g/cm<sup>3</sup>, en comparaison avec des fibres telles que celles de verre qui ont une masse volumique plus élevée, autour de 2,55 g/cm<sup>3</sup>. Cette caractéristique en fait un critère important dans le choix des fibres cellulose et lignocellulosiques pour la fabrication de matériaux composites, tant structuraux que non structuraux, recherchés pour leur légèreté.

L'angle micro fibrillaire contribue en partie à la déformation élastique des fibres végétales et, par conséquent, à leur allongement avant rupture sous traction. Sous des forces de traction relativement faibles, la fibre lignocellulosique subit une déformation réversible à mesure que les micros fibrilles celluloses s'alignent progressivement avec l'axe de la fibre, accompagnée d'une déformation élasto-viscoplastique des polymères amorphes. Si la sollicitation de la fibre est plus importante, cette déformation peut devenir irréversible, pouvant conduire à la rupture. Un angle micro fibrillaire plus élevé entraîne une déformation élastique plus prononcée pour une faible sollicitation en traction. En outre, il existe une corrélation négative entre l'angle micro fibrillaire de la fibre et le module d'Young correspondant. (**Figure I.4**). [2]



**Figure I.4:** Variation du module d'Young axial avec l'angle micro fibrillaire de fibre simple [6] [3].

### I.3.4 Effet de la composition chimique des fibres végétales sur leurs propriétés mécaniques

Selon plusieurs auteurs, les excellentes propriétés mécaniques des fibres cellulosiques découlent des liaisons hydrogènes qui se forment le long et entre les chaînes de cellulose, ainsi que de l'état de cristallinité de la cellulose. Les hémicelluloses, agissant comme un liant amorphe, jouent un rôle essentiel dans les propriétés plastiques de la fibre cellulosique, tandis que la lignine agit en tant qu'adhésif, rigidifiant et durcisseur dans la fibre lignocellulosique. [2]

### I.4 Structure et composition des fibres naturelles d'origine végétale.

Les propriétés mécaniques des fibres naturelles sont déterminées par leur :

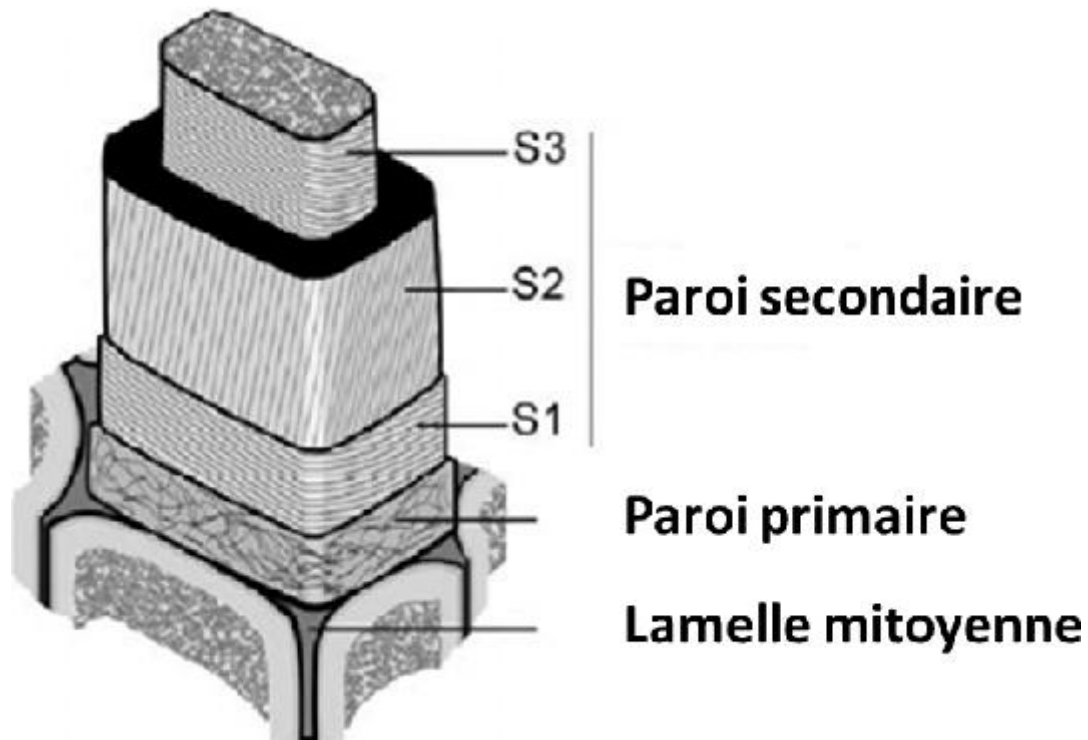
- Composition chimique : pourcentage de cellulose (micro-fibrille = renfort).
- Structure physique : angle micro-fibrillaire. La diminution de l'angle entraîne une

#### I.4.1 Structure de la fibre végétale

La fibre végétale est considérée comme un matériau multicouche du fait des parois cylindriques concentriques qui la composent. Au centre de la fibre élémentaire, on distingue le lumen qui contenait, jusqu'à maturité de la fibre, le noyau cellulaire et le cytoplasme. La taille du lumen permet de déterminer la qualité et le degré de maturité de la fibre [8].

La paroi végétale, qui est l'enveloppe de la cellule végétale, est composée essentiellement de composés glucidiques. Elle comporte 2 parties présentées sur la **figure I.5**:

- La paroi primaire
- La paroi secondaire, elle-même composée de 3 couches : S1, S2 et S3



**Figure. I.5 :** Schéma des parois d'une fibre de lin

La paroi primaire est la paroi la plus externe dont l'épaisseur est comprise entre 0,1 et 0,5  $\mu\text{m}$  (**Figure .I.5**) [9]. Cette paroi est poreuse et élastique [10]. Elle est constituée principalement de pectines et de micro-fibrilles de cellulose orientées aléatoirement [11,12].

La paroi secondaire ou paroi interne possède une épaisseur d'environ 10  $\mu\text{m}$ , constituant la plus grande partie du volume de la fibre. Cette paroi se divise en 3 couches : S1, S2 et S3. Ces trois sous-couches se différencient par leur composition biochimique, leur épaisseur ainsi que par leur arrangement

La paroi primaire ainsi que la paroi secondaire sont considérées comme des composites renforcés de fibrilles. Leurs principaux constituants sont la cellulose, les hémicelluloses et la lignine qui constitue la matrice du composite. Chacune des sous couches est constituée de lamelles concentriques, qui consistent en un enroulement de micro-fibrilles de cellulose parallèles entre elles dans une matrice de lignine, les hémicelluloses assurent l'interphase. [7]

### **I.5 Composition chimique des fibres végétales**

La biomasse végétale se compose de plusieurs macromolécules étroitement liées au sein de la paroi végétale. Comme évoqué précédemment, les composés les plus abondants sont la cellulose, l'hémicellulose, les pectines et les lignines. Ces divers constituants sont organisés de

manière extrêmement complexe, formant une structure essentielle à la résistance et à la fonctionnalité de la plante. [7]

#### a) Cellulose

La cellulose est le constituant principal de la masse végétale. Ce polymère linéaire de glucose présente est à l'état presque pur (>90%) dans la fibre de coton. Il est aussi, avec de la lignine, l'un des constituant essentielle du bois (50%) [13].

#### b) Hémicelluloses

On désigne par hémicellulose tout polysaccharide soluble dans l'eau et pouvant être extrait de la paroi des cellules végétales par des solutions acides.

Les hémicelluloses sont une classe de polymères très variés (de nombreux monomères et de nombreux branchements différents). Elles sont donc assez mal définies. Dans leurs états naturels, leur structure est fonction de l'espèce végétale. Elles ont un degré de polymérisation compris entre 200 et 300 [14].

#### c) Pectines

Les pectines jouent un rôle capital dans l'architecture de la paroi végétale. Ces substances pectiques sont présentes avec des proportions variées dans la plupart des végétaux (environ 1% dans le bois). Elles jouent le rôle de ciment intercellulaire et contribuent à la cohésion des tissus végétaux [15].

#### d) Lignine

La lignine est après la cellulose, la matière organique renouvelable et la plus abondante à la surface terrestre. La lignine originelle ou "protolignine" constitue la plus importante fraction non saccharique des fibres végétales. C'est la matière "incrustante" de la cellulose. La lignine est constituée de polymères phénoliques tridimensionnels, amorphes possédant trois unités différentes de type pénylopropane : les alcools p-coumarylique, coniférylique et sinapylique [16].

#### e) Extractibles

Ce sont des molécules de faible masse molaire qui remplisse la lumière des cellules. Ils représentent 2 à 5 % de la masse sèche. La plupart de ces extractibles sont solubles dans l'eau ou des solvants organiques, d'où leur dénomination. La composition en extractibles varie en fonction de l'essence considérée et influe sur la couleur et l'odeur. Il s'agit de tanins, de pectines, de sucre et d'autres composés [17]

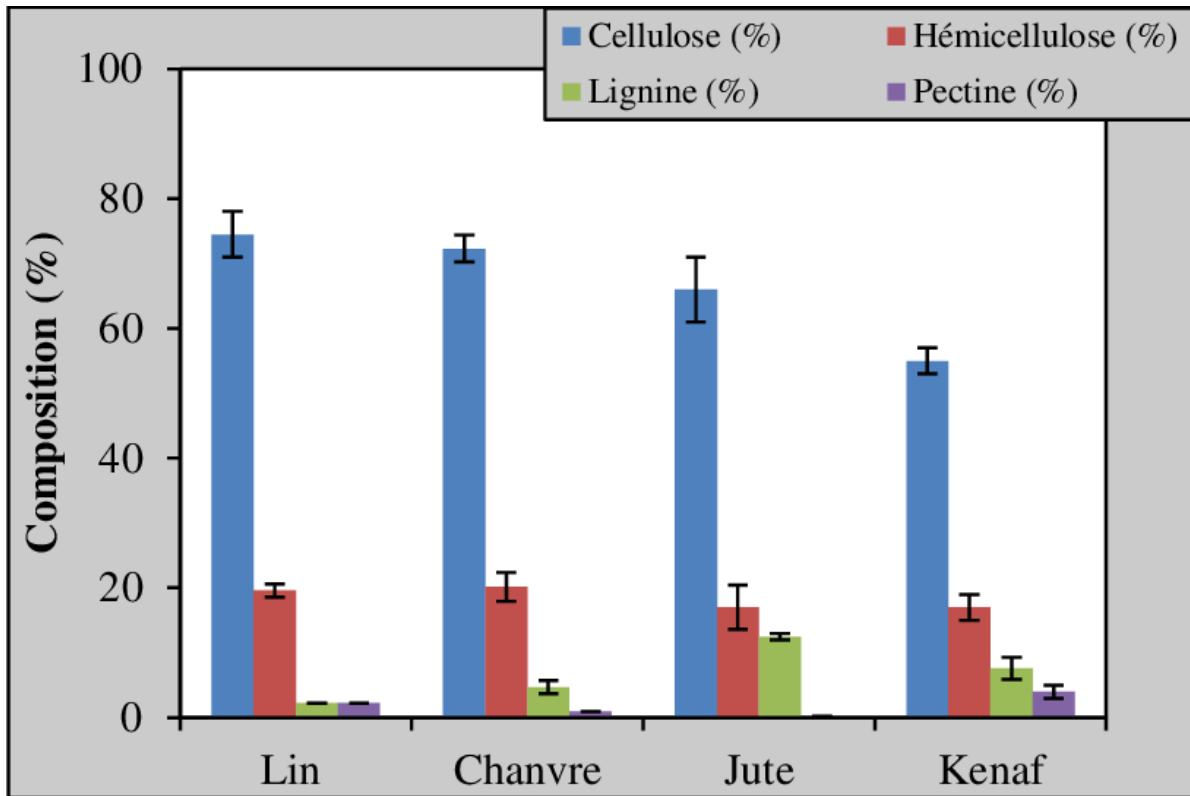


Figure. I.6 : Composition chimique de quelques plantes à fibres

Types de fibre	cellulose	hémicellulose	Lignine
Cotton	82.7	5.7	-
Jute	64.4	12.0	11.8
Zoster	57	28	5
Ramie	68.6	13.1	0.6
Sisal	65.8	12.0	9.9
Chanvre	57-77	14-17	9-13
Kénaf (écorce)	44-60.8	20.3-23	10-19
Kénaf (bois)	37-49	18-24	15-21
Résineux	48.0	15.0	25.3

Tableau I.2: Composition chimique de quelques plantes à fibres [18].

### I.6 Propriétés mécaniques de la fibre végétale

Il est en effet difficile de résumer toutes les propriétés des fibres lignocellulosiques dans un tableau en raison de leur grande variabilité constitutive et anatomique, ce qui entraîne une variabilité de leurs propriétés mécaniques.

La faible masse volumique des fibres végétales, généralement comprise entre 1,2 et 1,5 g/cm<sup>3</sup>, confère à ces matériaux des propriétés mécaniques spécifiques intéressantes. Les fibres longues présentent des contraintes en traction plus faibles que les fibres courtes, car les premières ont une plus grande probabilité de contenir des défauts de formation et de fatigue.

La cellulose cristalline est l'un des polymères ayant un module d'élasticité relativement plus élevé, situé entre 90 et 137 GPa, comparé à celui de la fibre de verre, qui est de 75 GPa. Ainsi, un indice de cristallinité élevé de la cellulose dans une fibre est indicateur de propriétés mécaniques élevées. [18].

L'angle micro fibrillaire explique en partie la déformation élastique de la fibre végétale et, par conséquent, son allongement avant rupture sous traction. Sous l'action de forces de traction relativement faibles, la fibre lignocellulosique subit une déformation réversible à mesure que les micros fibrilles cellulosiques s'alignent progressivement avec l'axe de la fibre, accompagnée d'une déformation élasto-viscoplastique des polymères amorphes [19].

Si la sollicitation de la fibre est plus importante, cette déformation peut devenir irréversible, pouvant conduire à la rupture. Un angle micro fibrillaire plus élevé entraîne une déformation élastique plus prononcée pour une faible sollicitation en traction. [20].

Le **tableau I.3** ci-dessous présente les propriétés mécaniques des fibres naturelles en comparaison avec certaines fibres de renforcement conventionnelles

Fibre	Densité (g/cm <sup>3</sup> )	Allongement(%)	Résistance à la traction (Mpa)	Module de Young (Gpa)
Coton	1.5-1.6	7.0 - 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	2000–3500	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

**Tableau I.3 :** Propriétés mécaniques des fibres naturelles en comparaison avec des fibres de renforcement conventionnelles.

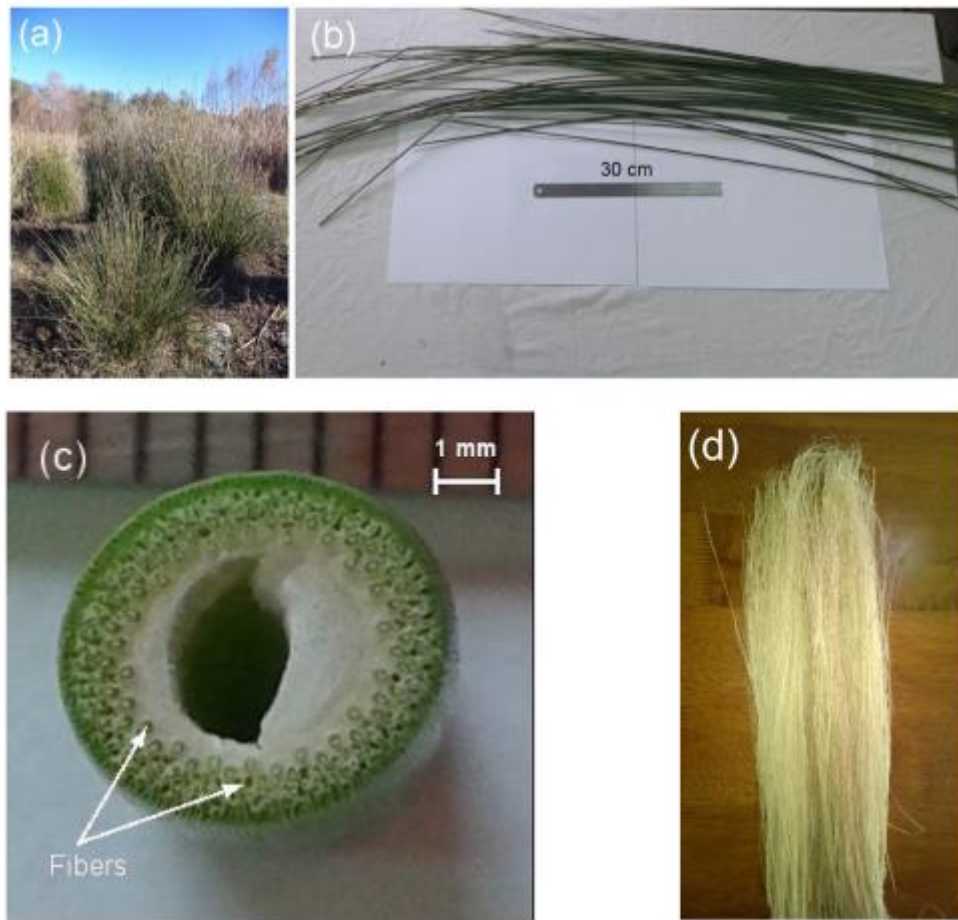
**I.7 synthèse des travaux sur les fibres végétales**

On a cité quelque étude sur les fibres végétales

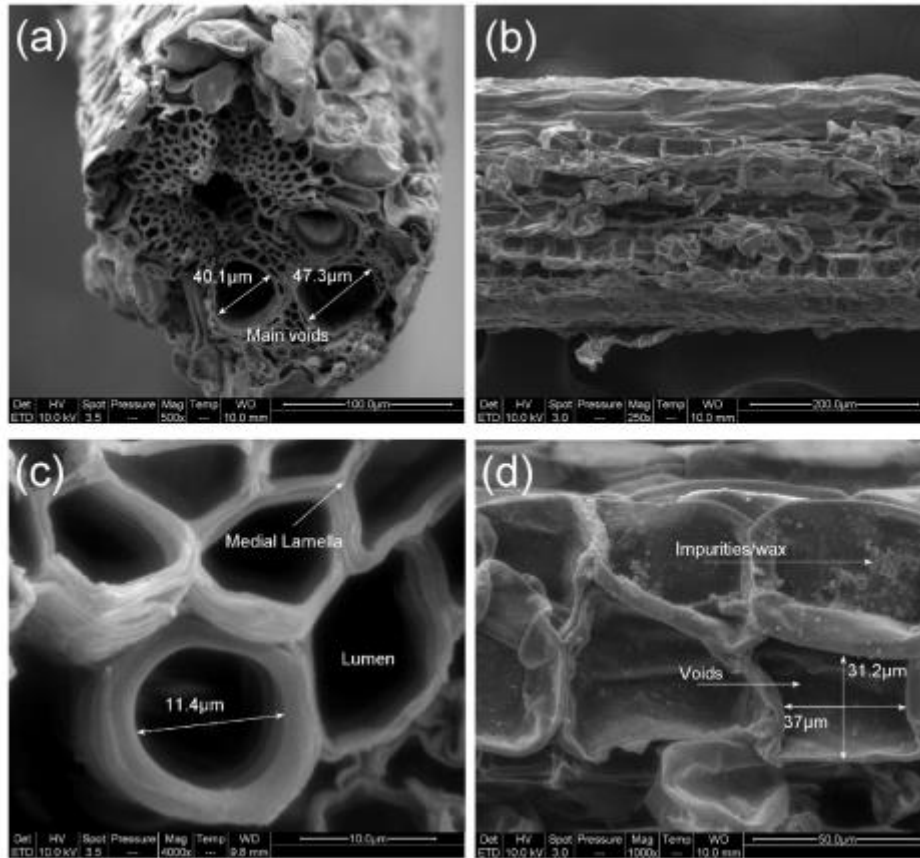
**I.7.1 Caractérisation d'une nouvelle fibre cellulosique naturelle issue de Juncus effusus L**

Cette étude réalisée par Mabrouk Maache, Abderrezak Bezazi, Salah Amroune, Fabrizio Scarpa, vise à évaluer la morphologie et les propriétés des fibres extraites d'une plante naturelle sauvage largement disponible en Algérie connue sous le nom de Juncus effusus L. (JE).

La morphologie et le diamètre des faisceaux de fibres extraits de la tige de la plante il le caractérisés par microscopie optique et électronique à balayage. Les groupes fonctionnels des fibres lignocellulosiques JE extraites ont été étudiés par FTIR, leur comportement de dégradation thermique a été étudié par TGA et leur cristallinité a été déterminée en utilisant la technique de diffraction des rayons X. De plus, une caractérisation mécanique a été réalisée à l'aide d'un test de traction sur la fibre lignocellulosique afin d'évaluer leur résistance, leur déformation à la rupture et leur module d'Young. Compte tenu de la dispersion des résultats expérimentaux obtenus, ces derniers ont été analysés à l'aide des lois Weibullstatistiques à deux et trois paramètres. [26]



**Figure. I.7 :** Photographies de (a) plante JE, (b) tige de plante JE, (c) coupe transversale de la tige (d) fibres extraites de la tige [26]



**Figure. I.8 :** Micrographies MEB de (a) la coupe transversale et (b) la vue longitudinale de la fibre JE. (c) et (d) correspondent à un zoom de la coupe transversale et de la vue longitudinale, respectivement, de la fibre JE. [26]

### I.7.2 Caractérisation de nouvelles fibres cellulosiques naturelles brutes et alcalines de *Coccinia grandis*.

Etude réalisée par : P SenthamaraiKannan, M Kathiresan

Les propriétés physiques, chimiques, de traction, cristallines, thermiques et morphologiques de surface des fibres de *Coccinia Grandis* L. brutes et alcalines (CGF) ont été caractérisées pour la première fois dans cette étude. Les résultats de l'analyse chimique révèlent qu'après un traitement alcalin, la teneur en cellulose des CGF a augmenté, tandis que les teneurs en hémicelluloses, lignine et cire ont diminué. Cette modification a directement impacté la résistance à la traction, l'indice de cristallinité, la stabilité thermique et la rugosité des CGF traités aux alcalis.

La stabilité thermique et l'énergie d'activation des CGF ont été améliorées de manière significative, passant respectivement de 213,4 °C à 220,6 °C et de 67,02 kJ/mol à 73,43 kJ/mol

grâce au traitement alcalin. Pour analyser les propriétés de traction, une approche statistique basée sur la distribution de Weibull a été adoptée. Les résultats ont montré des propriétés améliorées pour les CGF traités aux alcalis, suggérant qu'ils pourraient être des matériaux adaptés pour le renforcement dans les composites polymères [30]



**Figure. I. 9 :** (a) *Coccinia grandis*.L plante, fruit et fleur, (b) rouissage à l'eau, coupe transversale vue de la tige et des faisceaux de fibres internes, (c) Fibres internes retenues (après rouissage), (d) lavage dans de l'eau propre, (e) Séchage (lumière du soleil), (f) CGF (après traitement au NaOH) [30]

### I.7.3 Synthèse et caractérisation de la fibre cellulosique du pédoncule de la banane rouge comme renfort pour applications potentielles

Cette étude réalisée par P. Manimaran, M. R. Sanjay, P. Senthamarai kanna n, Mohammad Jawaid, S. S. Saravanakumar & Raji George est conclu que :

Les composites polymères renforcés de fibres naturelles (NRPC) remplacent de plus en plus les fibres synthétiques en raison de leur disponibilité économique, de leur caractère écologique, biodégradable et durable. Ce projet a impliqué l'extraction de nouvelles fibres cellulosiques à partir du pédoncule de la banane rouge (RBP) et l'étude de leur composition chimique, physique, structurelle, thermique et de leurs propriétés de traction.

Les fibres de RBP (RBPF) ont démontré une résistance spécifique élevée et une bonne capacité de liaison en raison de leur légèreté et de leur haute teneur en cellulose (72,9% en poids), associée à de faibles quantités de lignine (10,01% en poids) et de cire (0,32% en poids). Les analyses par diffraction des rayons X (XRD) et spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) ont révélé que les RBPF sont riches en cellulose, avec un indice de cristallinité (IC) de 72,3%.

La densité des fibres s'est avérée être d'environ 0,896 g/cm<sup>3</sup> et leur diamètre se situait entre 15 et 250 µm. Les fibres ont également démontré une stabilité thermique jusqu'à 230 °C. Sur la base des résultats obtenus, il apparaît que les propriétés des fibres en font un candidat approprié comme matériau de renforcement naturel pour le développement de bio composites destinés à diverses applications potentielles.



**Figure. I.10 :** Bananier rouge, pédoncule de bananier rouge, pédoncules en cours de rouissage et fibres extraites. [25]

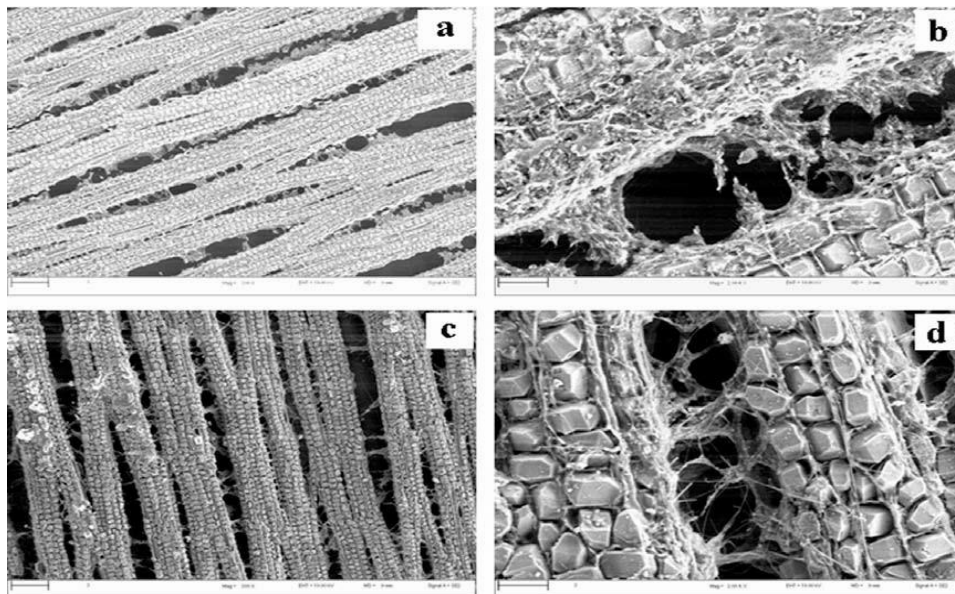
**I.7.4 Caractérisation du nouveau tissu cellulosique naturel *Grewia tilifolia***

Cette étude s'intéresse à la caractérisation de nouveau tissu naturel *Grewia tilifolia*.

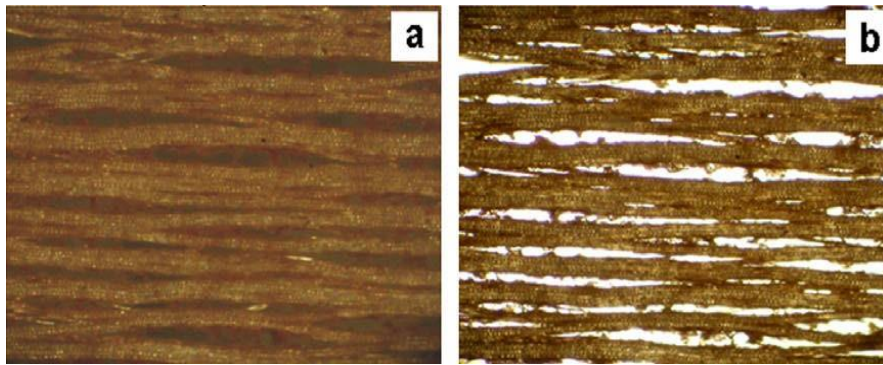
Le nouveau tissu naturel *Grewia tilifolia* a été extrait de son arbre. Ce tissu uni axial a été analysé par chimique, spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier, analyse thermogravimétrique, diffraction des rayons X, balayage microscopie électronique et techniques microscopiques optiques polarisées. L'effet du traitement alcalin sur les propriétés mécaniques, morphologiques et thermiques du tissu a été examiné. La traction la résistance, le module et la stabilité thermique du tissu se sont avérés améliorer le traitement alcalin. D'après les études de dégradation mécanique et thermique de ce tissu, il a été conclu que le tissu peut être utilisé comme renfort dans la préparation de composites verts et pour d'autres tissus de grande valeur applications. [31]

#### I.7.4.1 Extraction du tissu de l'arbre

Les échantillons de tissu de *G. tilifolia* ont été extraits de l'écorce de l'arbre. Ils ont été maintenus dans l'eau pendant une semaine pour saleté et autres matières étrangères. Ils ont ensuite été soigneusement lavé et séché au soleil pendant une semaine. Quelques exemples ont été traités avec une solution de NaOH à 5% (en poids) au maximum température de 30 C et un temps de maintien de 45 min et après traitement, les tissus ont été soigneusement lavés puis séchés à 80 C pendant 24 h et stocké. Les échantillons ont également été séchés à nouveau avant une analyse.



**Figure I. 11 :** Micrographies électroniques à balayage du tissu de *Grewia tilifolia* - (a) et (b) pour les tissus non traités et (c) et (d) pour les tissus traités à 5% de NaOH à différents grossissements. [31]



**Figure.I.12** : Micrographies optiques polarisées de (a) tissu *Grewia tilifolia* non traités et (b) traités à 5% de NaOH. [31]

### **I.7.5 Caractérisation d'une nouvelle fibre cellulosique naturelle issue de la tige de *Cissusquadrangularis***

Une étude présentée par Indran, R. Edwin Raj résultante que Le composite polymère a énormément contribué aux technologies éco énergétiques dans l'industrie automobile et aéronautique. Les préoccupations environnementales et sanitaires liées à la nature cancérigène du composite polymère à base de fibres artificielles nécessitent une rénovation.

L'extrait de fibre cellulosique naturelle écologique de la tige de la plante *Cis-sus quadrangulaires* est largement caractérisé pour être considéré comme une alternative viable pour les fibres dangereuses d'origine humaine. Une étude anatomique, une analyse chimique, une analyse physique, un FTIR, un XRD, une analyse SEM et une analyse gravimétrique thermo ont été effectuées pour établir la certitude de les utiliser comme fibre de renforcement. Son poids léger et la présence d'une teneur élevée en cellulose (82,73%) avec très peu de cire (0,18%) offrent une résistance spécifique élevée et de bonnes propriétés de liaison dans la fabrication de composites. La surface en nid d'abeille feuilletée révélée par microscopie électronique contribue à un module élevé dans la fibre de tige CQ et l'analyse gravimétrique thermo assure la stabilité thermique jusqu'à 270 ° C, ce qui est dans la température du processus de polymérisation. [32]



Figure. I. 13 : Plante de *Cissus quadrangularis* avec sa fibre de tige extraite [32]

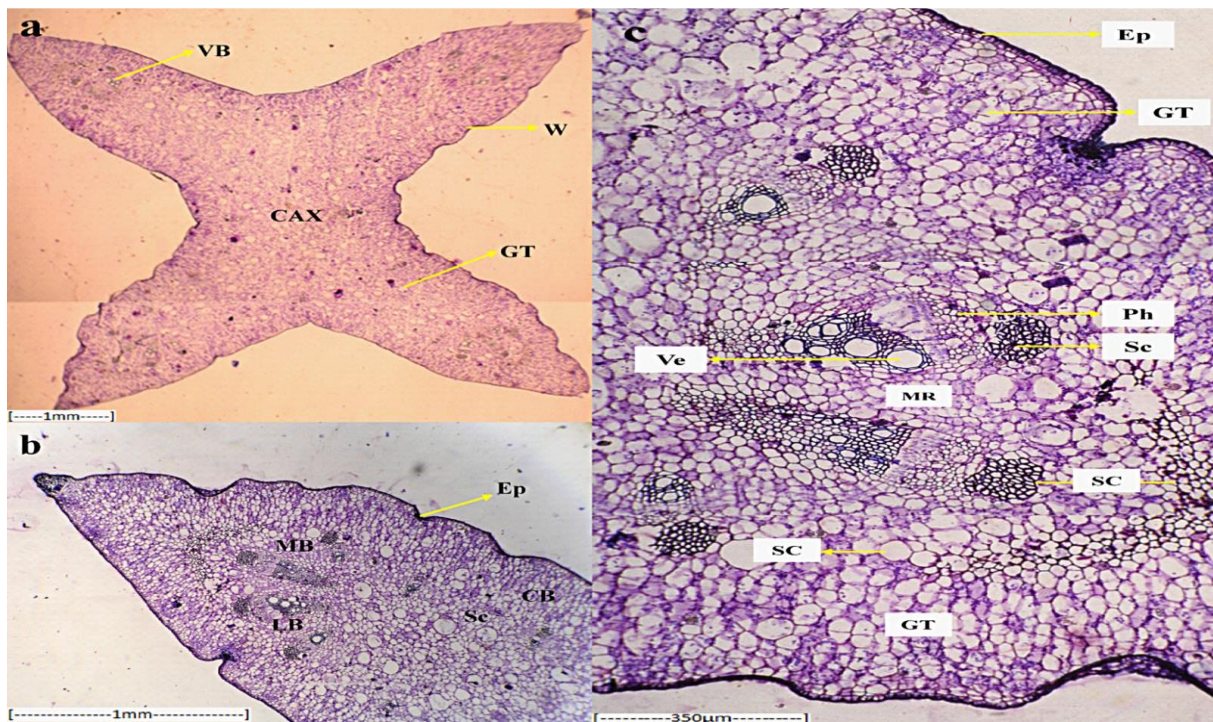


Figure. I. 13 : Coupe transversale microscopique optique de la tige de *Cissusquadrangularis* - (a) coupe transversale de l'inter-nœud ailé vue en coupe entière 10 ×, (b) une aile agrandie 40 × et (c) systèmes vasculaires de la tige agrandi 60 ×. (VB faisceau vasculaire, W aile, CAX axe central, GT tissu au sol, Ep épiderme, CB faisceau cortical, LB faisceau latéral, MB faisceau médian, Sc sclérenchyme, SC cavité sécrétoire, MR médullaire ray, Ph-phloème, Ve-vaisseaux). [32]

### I.7.6 Distribution de Weibull uni- et bimodale pour analyser la résistance à la traction des fibres Diss

Le présent travail a examiné plusieurs fonctions de distribution statistique dans le but d'analyser de manière critique les données de résistance des fibres naturelles Diss. En plus des distributions à deux paramètres de Weibull, des distributions à trois paramètres et bimodales de Weibull ont été utilisées. Les tests de Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling et du chi-carré ont été utilisés pour évaluer la précision de l'ajustement de la fonction de densité de probabilité (PDF) de Weibull aux données de résistance à la traction.

Les résultats des essais de traction ont indiqué une bonne résistance à la traction et un module d'Young des fibres. Cependant, leur résistance à la rupture présente des dispersions élevées en raison de la présence de défauts à l'intérieur et/ou à la surface des fibres.

L'observation microscopique a révélé que la rupture des fibres est influencée par deux types de défauts : une surface rugueuse formée de plusieurs épines et des défauts internes tels que des défauts de connexion entre les fibrilles.

L'analyse statistique de la variabilité de la résistance a montré que les valeurs des paramètres de forme et d'échelle calculées à l'aide de la distribution bimodale de Weibull sont plus grandes que celles utilisant la seule distribution unimodale de Weibull. De plus, les points de données de résistance correspondent bien à la courbe PDF de Weibull bimodal. Les trois tests de qualité d'ajustement ont également indiqué que le modèle bimodal de Weibull offre une prédiction plus précise de la force des données par rapport au modèle unimodal de Weibull.

[33]

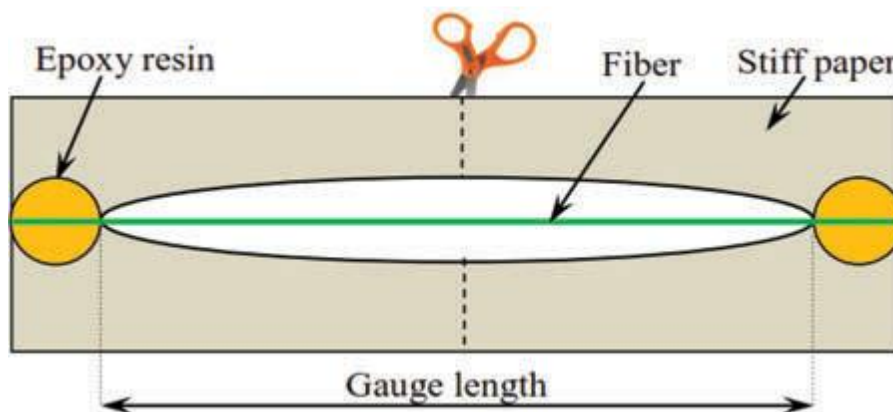
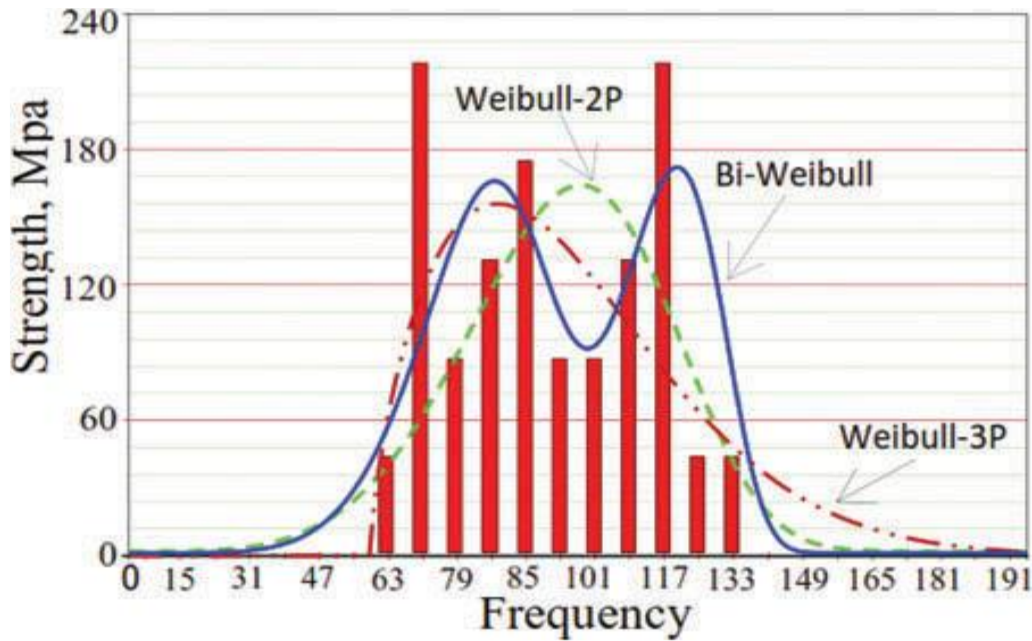


Figure .I.14 : Schéma d'une éprouvette de fibre. [33]



**Figure.I.15 :** Histogramme de la force mesurée et prédictive par Weibull (PDF) des fibres  
Diss dérivées de 2P, 3P et bimodales [33]

**I.7.7 Traction de fibre unitaire et mesure des déformations en champ complet. Application à la fibre de lin**

Un banc d'essai de micro-traction est employé pour évaluer la traction des fibres élémentaires de lin. Les déplacements de la fibre sont calculés en temps réel à l'aide d'une technique de corrélation d'images numériques, permettant ainsi de détecter les essais présentant des défauts visibles. Les déformations longitudinales sont dérivées de ces champs de déplacements.

Il est démontré que la mesure des déformations par cette méthode locale est préférable à une mesure par méthode globale. Dans notre étude, la méthode globale surestime les déformations de 42 %, ce qui entraîne une sous-estimation du module d'Young moyen de 70 %.. [34]

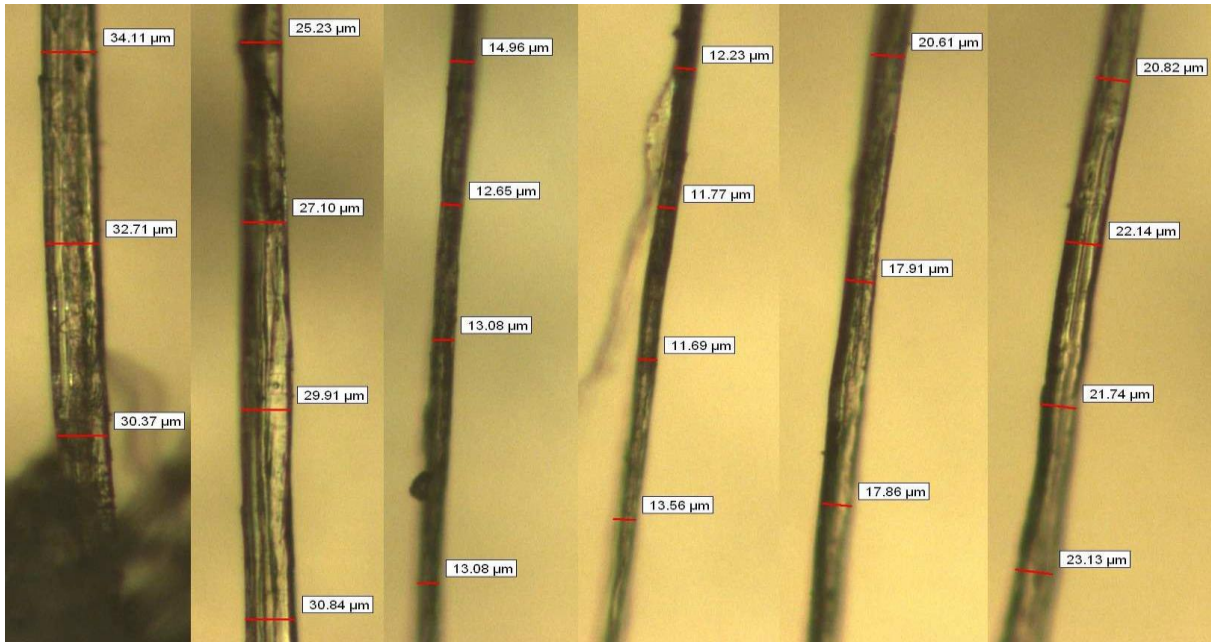


Figure. I .16 : Plusieurs zones d'une fibre de lin observées avec le même grandissement. [34]

Échantillon	dm	□ □ R	Mesure locale		Mesure globale		Écart E	global □ □	
			E	□ □	E	□ □			
cadre souple	13	16,1	770	95,2	0,77	39,6	1,95	-154	67
	16	28,9	316	46,9	0,61	32,1	0,98	-51	42
	17	26,5	454	38,6	1,19	31,8	1,5	-24	23
	18	16,5	519	71,7	0,75	43,6	1,18	-71	40
	39	23,9	845	75,3	1,05	61,6	1,34	-24	24
<b>moyenne</b>	<b>22,4</b>	<b>581</b>	<b>65,5</b>	<b>0,9</b>	<b>41,7</b>	<b>1,4</b>	<b>-65</b>	<b>39</b>	
cadre rigide	41	16,9	500	66,5	0,82	32,3	1,42	-116	46
	44	26,1	520	43,4	1,3	25,1	2,1	-80	42
	46	25,0	514	48,7	1,1	34,1	1,5	-47	29
<b>moyenne</b>	<b>22,7</b>	<b>511</b>	<b>52,9</b>	<b>1,1</b>	<b>30,5</b>	<b>1,7</b>	<b>-81</b>	<b>39</b>	
cadre souple	51	22,3	950	85,6	1	55	1,62	-61	42
	52	21,8	1000	72,5	1,25	49,8	2,4	-50	53
	59	24,1	900	74,8	1,1	41,7	2	-87	50
<b>moyenne</b>	<b>22,7</b>	<b>950</b>	<b>77,6</b>	<b>1,1</b>	<b>48,8</b>	<b>2,0</b>	<b>-66</b>	<b>48</b>	
<b>moyenne</b>	<b>22,5</b>	<b>663</b>	<b>65,4</b>	<b>1,0</b>	<b>40,6</b>	<b>1,6</b>	<b>-70</b>	<b>42</b>	
<b>écart type</b>	<b>4,4</b>	<b>235</b>	<b>18,4</b>	<b>0,2</b>	<b>11,2</b>	<b>0,4</b>	<b>39</b>	<b>13</b>	

Tableau. I. 4 : Résultats validés pour trois séries d'essais sur 10 échantillons testés par série.

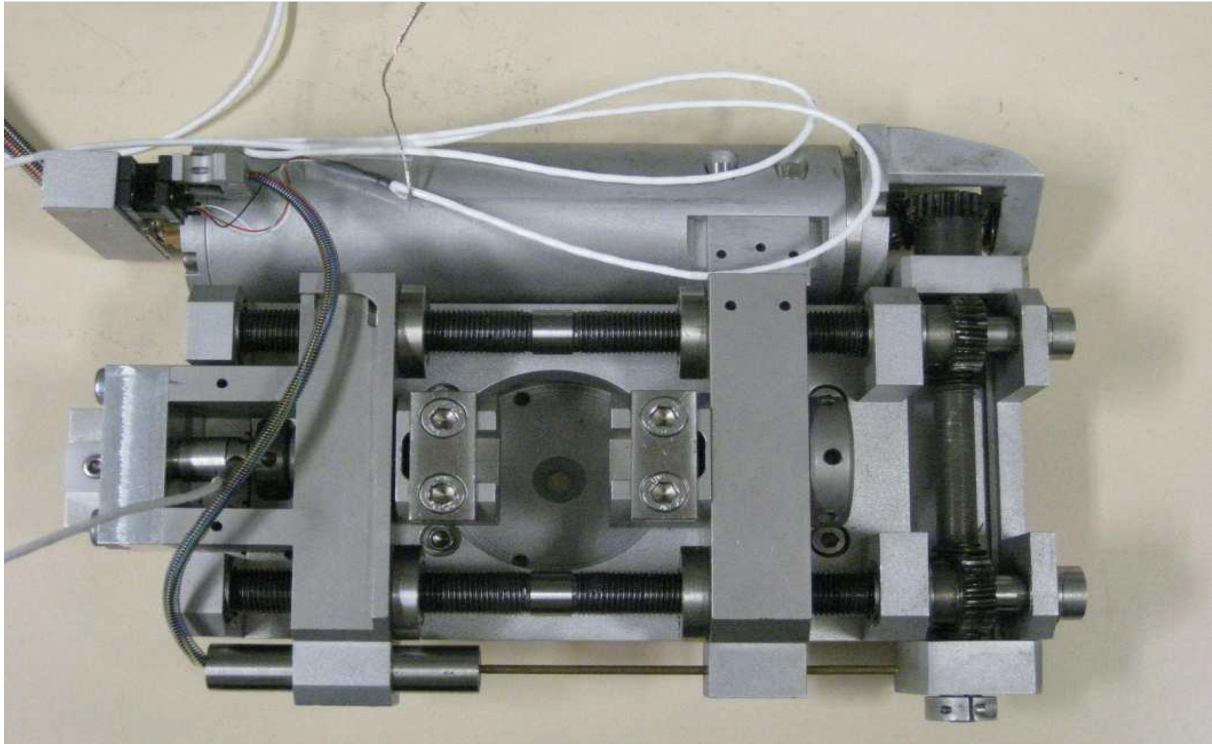
[34]

### I.7.8 Nouvelle approche pour la caractérisation mécanique des fibres naturelles

Dans leur étude, F. Ilcyszyn, A. Cherouat et G. Montay proposent une nouvelle méthode de caractérisation mécanique des fibres naturelles, en se concentrant particulièrement sur le chanvre. Cette méthode vise à déterminer trois propriétés fondamentales : le module de Young, la contrainte et la déformation à la rupture.

Pour ce faire, ils ont utilisé l'essai de micro-traction des fibres, couplé à une méthode d'imagerie numérique et à la méthode des éléments finis. L'essai de traction permet de mesurer la force et le déplacement maximum. L'imagerie numérique, quant à elle, permet une mesure plus précise de la section de la fibre sur toute sa longueur. Enfin, la méthode des éléments finis prend en compte la géométrie réelle de la fibre, qui n'est plus considérée comme un simple cylindre.

. [35]

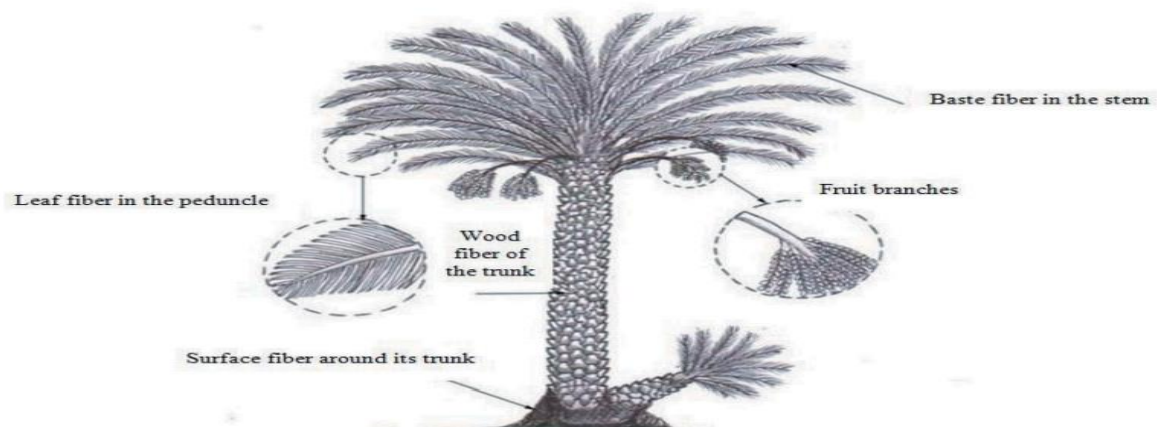


**Figure. I .17 :** Photo de la machine de micro-traction [35]

## I.8 GENERALITES SUR LE PALMIER DATTIER

Le palmier dattier (*Phoenix dactylifera*), connu depuis l'antiquité, revêt une importance culturelle et symbolique significative à travers différentes civilisations. Les Égyptiens l'ont considéré comme un symbole de fertilité, tandis que les Carthaginois l'ont représenté sur leurs pièces de monnaie et leurs monuments. Les Grecs et les Romains l'ont utilisé comme ornement lors de célébrations triomphales. Dans la tradition chrétienne, ses feuilles sont un symbole de paix, rappelant l'entrée de Jésus dans Jérusalem.

Le terme générique "Phoenix" est un nom antique déjà cité par Théophraste, utilisé par les Grecs pour désigner les plantes de ce genre. Il dérive du mot grec "phoenix", signifiant "phénicien", car la plante aurait été diffusée par les Phéniciens. Le terme spécifique "dactylifera" est composé de "dactylus" (datte en grec) et "fero" (je porte en latin), ce qui signifie littéralement "porteur de dattes". [22]



**Figure. I.18:** *Présentation schématique d'un palmier dattier* [24]



**Figure. I.19:** photographie des fibres extraites du palmier dattier branches et utilisé dans ce travail [24]

- Palmes : Les palmes sont les feuilles du palmier, constituées de rachis le long desquels sont disposées des folioles. Elles peuvent atteindre une longueur de 4 à 7 mètres. Les feuilles âgées peuvent demeurer contre le stipe pendant plusieurs mois voire plusieurs années avant de tomber. L'ensemble des feuilles situées au sommet du stipe est appelé couronne ; elle peut avoir une envergure de 6 à 10 mètres.

- Jeune palme : La jeune palme est enroulée pendant toute sa croissance, semblable aux brins d'herbe ou aux feuilles de bambous.
  - Régime de dattes : Un régime de dattes (ou spécule) est la partie qui supporte les fruits du palmier. Il est attaché au palmier par la hampe, une tige si résistante qu'elle doit être sciée pour être détachée. Un régime peut contenir plus de 1000 fruits. Le palmier doit avoir au moins 7 ans avant de produire des dattes.
  - Dattes : Les dattes sont des fruits en forme de baies ovales mesurant environ 3 cm de long. Leur chair très sucrée entoure la graine. Récoltées en automne, leur couleur varie du rouge lumineux au jaune lumineux selon les variétés ; elles sont ensuite séchées au soleil. Un palmier dattier peut produire de 10 à 100 kg de dattes par an.
  - Gourmand : Un gourmand est une branche secondaire qui se développe sur la branche principale d'une plante. Il est généralement conseillé de les supprimer car, comme leur nom l'indique, ils sont très gourmands en ressources et épuisent inutilement la plante. On les retrouve notamment sur les tomates, où il est essentiel de les enlever pour obtenir de bons fruits.
  - Stipe : Le stipe ressemble au tronc des arbres mais est en réalité composé de fibres végétales provenant des anciennes feuilles. Son diamètre peut légèrement varier en fonction des conditions climatiques.
  - Cicatrices annulaires : Les cicatrices annulaires donnent l'impression que le palmier a un "tronc recouvert d'écailles". Elles correspondent au point d'attache de la feuille ancienne une fois que le pétiole (support de la feuille) est tombé. Ces cicatrices permettent aux grimpeurs de s'y accrocher pour atteindre les dattes.
  - Rejet : Le rejet est une jeune pousse du végétal qui peut être plantée pour obtenir un nouveau palmier. Il est sélectionné parmi les meilleurs palmiers par l'homme.
  - Bulbe : Situé à la base du stipe, le bulbe constitue la réserve du palmier. Il abrite le système racinaire d'où émergent des racines primaires courtes de moins d'un mètre et des racines secondaires longues de plus de 20 mètres.
- *Racines* : Elles sont nombreuses et profondes jusqu'à 20 mètres ; elles sont capables d'aspirer des centaines de litres d'eau par jour.

### I.8.1 Utilisations des palmiers

dattes, noix de coco, sucre, vin de palme, coprah, sagou (féculé), chou palmiste (coeur de palmier), huile de palme, chenilles.

- Usage thérapeutique : noix d'arec, sang-dragon.
- Usage industriel : cire de palmier, fibres textiles (raphia, rônier, crin végétal), rotin. pour vannerie, ivoire végétal...

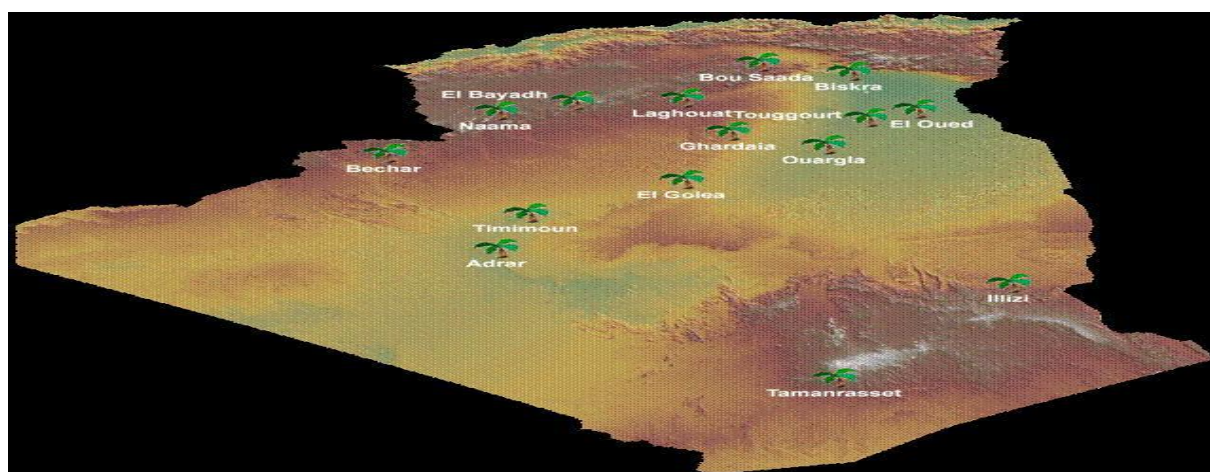
- Usage ornemental : parcs et jardins, avenues, plantes d'appartement (kentia).
- usage médical : par exemple, les baies de Serenoa utilisés (industriellement) pour lutter contre l'adénome prostatique. [2]

### I.8.2 Répartition géographique en Algérie

L'Algérie possède deux millions de kilomètres carrés de Sahara, abritant des oasis où l'espèce dominante est le palmier dattier. On recense 14 506 030 spécimens couvrant une superficie de 128 800 hectares, avec 9 641 680 dattiers représentant le potentiel productif, soit 66 %.

Selon les statistiques de 1996, l'Algérie se classe au cinquième rang des pays producteurs de dattes, avec une production de 120 000 tonnes et 9 millions de palmiers, soit 10 % du patrimoine mondial. Parmi ces palmiers, 6 666 000 sont des espèces productives occupant une superficie de 85 000 hectares.

Il convient de souligner que l'Algérie occupe la première place en termes de qualité, notamment grâce à la variété triomphante de Deglet Nour.



**Figure. I.20 :** Répartition géographique des palmiers dattier dans l'Algérie

### I.9. Conclusion

Après avoir examiné les caractéristiques physico-chimiques et mécaniques des fibres naturelles, il est important de souligner que, comme tous les produits naturels, ces fibres présentent une grande variabilité dans leurs propriétés. Cette variabilité est principalement due à la composition chimique et structurale des fibres, ainsi qu'aux conditions de croissance.

La cellulose, constituant principal de toutes les fibres végétales, peut varier d'une fibre à une autre.

Il est important de noter que les fibres naturelles sont sensibles à l'humidité, ce qui peut influencer considérablement leurs propriétés mécaniques. En général, une humidité élevée réduit les propriétés mécaniques des fibres. [18]

Après cette revue des fibres naturelles et de leurs caractéristiques physico-chimiques et mécaniques, nous passerons au chapitre 2, consacré aux matériaux composites. Nous examinerons comment utiliser ces fibres comme renfort dans des matrices thermoplastiques ou thermodurcissables.

# **Chapitre II**

## **Les briques de terre**

**I.1. Introduction**

Aujourd'hui pour du bâtiment bene climat la coté de séparation thermique entre l'ambiance intérieur et extérieure, on recherche Nouveau des matériaux de construction.

Les briques parmi les éléments plus importants dans le ce domaine, la fabrication des brique est passée par plusieurs étape de développement.

Dans ce chapitre nous allons présenter des briques (types, fabrications, caractéristiques ....etc.).

**I.2.Type de brique**

Il existe plissure type des briques par mis les brique (brique de terre crue, brique de terre cuite).

**I.2.1. Briques de terre crue**

De nos jours la construction en terre crue est de plus en plus abandonnée dans le monde.

Matériau jugé antique et associé aux premiers âges des civilisations du Nil, du Tigre et de l'Euphrate, de l'Indus.

Matériau majeur, il en est car la terre crue demeure encore de nos jours l'un des principaux matériaux de construction de l'homme pour édifier sa demeure et les édifices de la cité.

Les strates du temps se sont accumulées sur des sites d'occupation humaine qui régénéraient sans cesse l'édification de leur cadre de vie bâti quotidien.

De construire de simples cabanes et modestes demeures [36] Par mis les types il existe

**I.2.1.1. La adobe :**

L'adobe (appellation locale toube) est de l'argile qui, mélangée à de l'eau et à une faible quantité de paille hachée ou d'une autre fibre, peut être façonnée en briques séchées au soleil.

Par extension, l'adobe (ou banco) est la brique de terre crue, séchée au soleil, et utilisée comme matériau de construction. Ces briques sont obtenues à partir d'un mélange d'argile, d'eau et éventuellement d'une charge utilisée en petite quantité : de la paille hachée par exemple.

Il s'agit d'un des premiers matériaux de construction : les premières villes connues étaient construites en briques de terre crue. Ce matériau est encore l'un des plus utilisés au monde.

Les briques d'adobe sont coulées dans un cadre ouvert, un rectangle dont les dimensions est en général de 10x25x36 cm bien que l'on rencontre d'autres tailles. Le moule est retiré, et la brique est mise à sécher quelques heures, puis elles sont tournées sur leur tranche pour terminer le séchage. Lors du séchage, les briques peuvent être placées à l'ombre pour éviter l'apparition de fissures [37].

**I.2.1.2. Les pisés :**

Le pisé, technique séculaire de mise en œuvre de terre crue, offre des qualités d'habitabilité et d'adaptation exceptionnelles mais nécessite une attention et un suivi régulier.

Bien construit et protégé, le bâtiment en pisé traverse les siècles et s'adapte tout naturellement aux divers besoins des hommes. Traditionnellement, les bâtiments en pisé portent de « bonnes bottes » et un « bon chapeau ».

C'est à dire que le soubassement est traité de manière à éviter les remontées capillaires, (le plus souvent en galets, en pierre ou en briques de terre cuites maçonnées) et le débord de toiture est suffisant pour éviter le ruissellement de l'eau sur la façade. Le pisé, quant à lui, est en fait la compaction d'un volume de terre à l'intérieur d'un coffrage de façon manuelle en utilisant un pilon ou à l'aide de machinerie spécialisée.

Montre un exemple de coffrage qui peut être utilisé pour la fabrication de murs en pisé [38].

### I.2.1.3 Les blocs de terre comprimée

Les blocs de terre comprimée (BTC) sont des éléments de maçonnerie, des dimensions réduites et des caractéristiques régulières et contrôlées, obtenus par compression statique ou dynamique de terre à l'état humide suivie d'un démoulage immédiat.

Les blocs de terre comprimée ont généralement un format parallélépipédique rectangle et sont pleins ou perforés, à relief verticale ou horizontal. Les blocs de terre comprimée sont constitués principalement de terre crue et doivent leur cohésion à l'état humide et à l'état sec essentiellement à la fraction argileuse composant la terre (gravier, sable, limon et argile) ; un additif tel que de (ciment, chaux, pouzzolane etc..) peut être ajouté néanmoins à La terre pour améliorer ou développer des caractéristiques particulières des produits. Les caractéristiques final des BTC dépendent de la qualité des matières premières de (terre, additif) et de la qualité de l'exécution des différentes étapes de fabrication (préparation, malaxage, compression, séchage. [39]

### I.2.2. Briques de terre cuite :

Les matériaux de terre cuite sont utilisés depuis plusieurs siècles dans le bâtiment.

Ils se sont adaptés à l'évolution de la construction et à ses impératifs, dans

Le domaine traditionnel, Ils sont fabriqués à partir d'argiles communes devenant souvent rouges à la cuisson (sauf les argiles calcaires dont la couleur de cuisson varie du rose au jaune et au blanc) [39].

#### I.2.2.1. Mode de fabrication :

##### A. Méthode traditionnelle :

L'extraction de la terre nécessaire à la fabrication des briques se faisait à partir de puits rudimentaires, de mines ou de carrières. Avant la mécanisation. Une fois l'argile extraite, un travail de broyage permettait d'affiner la matière première. Ensuite, l'ajout d'eau en grande quantité permettait d'obtenir une pâte homogène, à la plasticité voulue.

Le pétrissage, autrefois de faisant pied, et désormais avec de puissantes machines, permettait d'éliminer les derniers cailloux. Cette préparation de l'argile se terminait par une phase de pourrissage, durant laquelle la terre glaise se « reposait ».

Son façonnage se faisait dans un moule en bois dont les bords et le fond étaient ensablés afin que la glaise n'y adhère pas. Un morceau de glaise était placé dans le moule, puis aplani.

La surface était égalisée et arasée de son excédent à l'aide d'un archet. Le tout était démoulé et déposé sur le sol, ou sur une grille pour une première phase de séchage.

Une fois durcies, les briques étaient empilées en quinconces pour faciliter la circulation de l'air entre elles. La cuisson s'opérait quand le nombre de briques sèches était suffisant.

Elles étaient alors empilées selon le même principe à l'intérieur du four, par une étroite ouverture verticale aménagée dans un des côtés. Des rainures horizontales recevaient une planche servant de support à l'ouvrier chargé de placer les briques jusqu'en haut du four.

L'ouverture était ensuite obturée avec de la terre. Le feu était allumé dans le foyer situé en sous-sol du four, et entretenu pendant plusieurs jours, avec une surveillance constante.

Ce travail manuel a donné aux briques leur forme caractéristique. Aujourd'hui, ce travail est industrialisé et permet d'obtenir différentes tailles de briques, parfaitement identiques.

Un système de découpage automatique façonne des briques à partir de boudins de glaise.

La brique subit ensuite une série de séchages qui éviteront les fissures et les éclats lors de la cuisson. [37].

### **B. Méthode moderne :**

La fabrication d'une brique moderne passe par les grandes étapes suivantes:

- Extraction de l'argile rouge et de l'argile verte. On mélange environ 10 % d'argile verte avec 90 % d'argile rouge. La terre argileuse, généralement extraite à proximité de la briqueterie, ne peut pas inclure trop de sable
- Broyage de la terre pour obtenir la granulométrie désirée
- Humidification et mélange des divers types de terres ; ajout d'une faible quantité de lignosulfite, résidu de l'industrie du papier, dérivé de la lignine contenue dans les arbres ; le lignosulfite facilite l'extrusion.
- Extrusion au travers de filières correspondant à une forme donnée de brique
- Coupage
- Séchage dans un séchoir à gaz (durée entre vingt et cinquante heures)

- Cuisson à environ 900 °C, pendant trente heures Éventuellement rectification (fraisage des bords jointifs pour faciliter le montage) [37].

Par mis les types il existe pour Briques de terre cuite

**I.2.2.2. Briques ordinaires :**

Une brique d'argile est une roche artificielle ayant la forme parallélépipédique Rectangle de dimensions bien déterminées. Généralement, on fabrique les briques suivant deux procédés: procédé plastique (l'argile est humectée d'eau de 20 à 25 %) et procédé demi sèche (l'argile est humectée d'eau de 8 à 12 %).

Après moulage et séchage, les briques sont cuites pour qu'elles deviennent assez dures.

La cuisson est faite soit dans le four périodique soit dans le four continu.En général, les dimensions d'une brique ordinaire sont : 250 x 120 x 65 mm. Selon la technologie de fabrication des briques traditionnelles, il est difficile d'obtenir des briques ayant des dimensions exactement précises, à cause du retrait à l'air et retrait de cuisson.

Selon la Norme, les tolérances sur les briques peuvent être calibrées de la manière suivante : ±6 mm

Sur la longueur ; ± 4 mm sur la largeur et ±3 mm sur l'épaisseur. On distingue la masse

Volumique des briques courantes en quatre groupes [38].

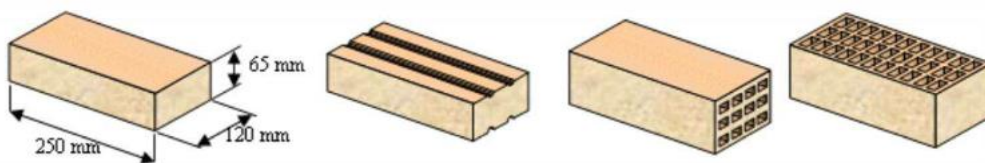
**Brique plein :** brique ne comprend aucune perforation et dont le format d,,appellation le

Plus courant est dimensions : 250 x 120 x 55 mm.

**Brique perforée :** Les briques perforées qui comportent au moins quatre conduits non

Débouchant sont fabriqués par voie demi-sèche. Ces briques doivent avoir, les

Dimensions suivants 250x120x88-55mm. [39]



**Figure I.21** : Brique pleines et perforées [39]

### I.2.2.3. Briques creuses de terre cuite

On distingue deux types de briques creuses :

- Type C : Briques à faces de pose continues, destinées à être montées à joints de mortier horizontal continu.
- Type R.J : Briques dites “ à Rupture de Joint ”, destinées à être montées à joints de mortier horizontaux discontinus. [36]

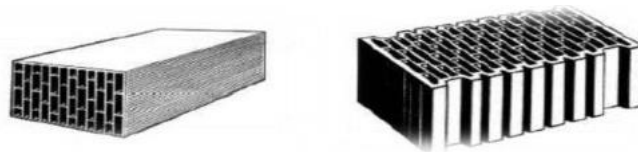


Figure I.22: Briques creuses de terre cuite à perforation verticale type G et perforation horizontale [39]

### I.3. Les avantages et les inconvénients

#### I.3.1. Les avantages

Briques de terre crue :

- La terre absorbe et restitue l'humidité
- La terre régule la température.
- La terre est un très bon isolant phonique
- La terre utilise peu d'eau en phase de transformation
- La terre est une ressource locale abondante et renouvelable
- La construction en terre crue n'utilise que 3% de l'énergie employée dans une construction en béton [37].

#### Briques de terre cuite :

Si ce matériau de construction est encore utilisé aujourd'hui, parfois au détriment de briques plus sophistiquées, comme la brique monomur (que nous vous présentions il y a peu), c'est tout simplement car elle a de très nombreux avantages ! Citons ensemble l'intérêt d'utiliser des briques en terre cuite pour vos constructions :

- Une bonne isolation : la brique en terre cuite est naturellement isolante. Associée à des isolants de qualité, elle vous offrira une maison très agréable à vivre !
- Un matériau naturel : contrairement à d'autres briques, la brique en terre cuite est artisanale et écologique. Sa production est en effet très peu polluante. Il s'agit ailleurs d'un matériau sain et respirant.
- Une pose facile : monter un mur en briques est facile et rapide, et à la portée de n'importe quel bricoleur expérimenté.
- Un matériau esthétique : enfin, la brique en terre cuite offre un côté naturel et très esthétique à n'importe quelle maison. Sans compter qu'elle n'a pas besoin d'un enduit. [41]
- Régulateur hygrométrique : le taux humidité dans la maison est constant. Résultat : l'atmosphère est saine et confortable
- Un matériau incombustible, durable dans le temps .[42]

### **I.3.2. Les inconvénient**

#### **Briques de terre crue**

La main d'œuvre nécessaire à toute construction en terre est souvent importante même une petite structure représente 15 tonnes de terre à travailler.

#### **Briques de terre cuite**

- Les briques de terre cuite nécessitent beaucoup d'énergie pour leur fabrication.
- Mise en œuvre délicate : la construction en monomur implique des techniques particulières. Faites appel à des maçons expérimentés dans le domaine, sous peine de perdre tout l'intérêt de ce type de construction.

### **I.4. Les caractéristiques sur les briques**

#### **I.4.1. les Caractéristiques des briques de terre crue (adobe, pisé,**

#### **Brique de terre comprimée)**

Les caractéristiques des briques de terre crue sont représentées dans le tableau suivant :

**Tableau I 1 : les Caractéristiques des briques de terre crue (adobe, pisé, Brique de terre comprimée) [38].**

Caractéristiques	Type de brique de terre crue		
	Adobe	Pisé	BTC
Masse volumique $K/m^3$	1200 – 1700	1700-2200	1700 - 2200
Résistance à la compression MPa	$2.10^{-3}$ - $5.10^{-3}$	< 2.4	< 2.4
Conductibilité thermique $\lambda(w/m . ^\circ c)$	0.46 - 0.81	0.81 - 0.93	0.81 -1.04
Absorption d'eau %	5	10-20	10-20
Isolation acoustique Db	-	50 dB pour 40cm 40dBpour20cm	50 dB pour 40cm 40 dB pour 20cm
Retrait au séchage mm/m	1	1-2	0.2-1

**I.4.2. Caractéristiques de brique de terre cuite:**

Les propriétés et les caractéristiques de brique de terre cuite sont indiqué dans le tableau suivant :

**Tableau I 2 : les Caractéristiques des briques de terre cuite (briques creuses ,ordinaires) [38] [39]**

Caractéristiques	Type de brique de terre cuite	
	Briques creuses	Ordinaires
Masse volumique $K/m^3$	1750-2050	1650-2000
Absorption d'eau %	< 15%	30-80%
Isolation acoustique Db	41 -58 Db	41 -58 Db
Résistance à la compression	4 - 8 MPa	12.5 - 40 MPa
la Résistance thermique	0.05-0.20	0.52-1.21

# **Chapitre III**

## **Résultats et interprétations**

## L'étape expérimentale

### II.2. Argile

L'argile est une roche sédimentaire, composée pour une large part de minéraux spécifiques, silicates en général d'aluminium plus ou moins hydratés, qui présentent une structure feuilletée (phyllo silicates) qui explique leur plasticité, ou bien une structure fibreuse (sépiolite et palygorskite) qui explique leurs qualités d'absorption. On désigne par argile les matériaux de granulométrie inférieurs à  $4\mu\text{m}$  [39].

Pour cette recherche nous avons utilisé l'argile de Msila boukhmissa. Nous avons effectué

#### II.2.1 les essais suivants sur l'argile :

- Analyse granulométrique
- Analyse granulométrique par sédimentation ;
- Bleu de méthylène ;
- Limite d'Atterberg ;
- Densité sèche ;

#### II.2.2 Formulation expérimentale d'argile pour confection de la brique

Les plaquettes des fibres de palmier sont séparées en fibres individuelles dans l'eau, pour faciliter leur défibrage. Les fibres individuelles sont bien lavées à l'eau mélangée avec quelques gouttes de l'eau de javel pour enlever les impuretés et la couche de lignine qui entourent les fibres et qui gênent l'adhérence. Ensuite, elles sont coupées à des longueurs voulues. On a opté pour la recherche de la meilleure composition du mélange. A cet effet plusieurs séries de mélanges argile rouge /vert ont été confectionnés avec différentes pourcentage de argile vert et rouge tels que 0%, 25%,50%,75% et 100%. Et mélange fibre de palmier 0%,0.5%,1% (pourcentage en volume ou masse). Afin de mettre en évidence l'influence sur les caractéristiques requises de la brique (la résistance mécanique, ...), une étude des mélanges a été effectuée.

##### II.2.2.1 Les différentes compositions utilisées

Nous avons proposé pour notre travail les cinq compositions (argile+ fibre) suivantes :

Les trois compositions (Argile + fibre) en plus la composition de référence :

- Composition C1 Argile rouge 100% +26.5 % eau
- Composition C2 Argile vert 100%+ 36.5 % eau
- Composition C3 où Argile rouge 50% +50% argile vert+30.5 % eau
- Composition C4 où Argile rouge 75% +25% argile vert+29 % eau
- Composition C5 où Argile rouge 25% +75% argile vert +35% eau
- Composition C6 telle que :

- C6-1 : Argile rouge 100% + 0.5% fibre +26.5 % eau

- C6-2 : Argile vert 100%+ 0.5% fibre+36.5 % eau

Composition C7 où Argile rouge 50% +50% argile vert +0.5% fibre+ 30.5 % eau

-Composition C8 telle que :

- C8-1 : Argile rouge 100% + 1% fibre+24% eau

- C8-2 : Argile vert 100%+ 1% fibre+35 % eau

Composition C9 où Argile rouge 50% +50% argile verte +1% fibre +29 % eau

Le nombre total des éprouvettes de notre travail est comme suit :(33) briques

#### **III.5.4.3 Les étapes de confection d'une éprouvette**

1- On pèse les quantités nécessaires des différents matériaux : argile vert, argile rouge, fibre de palmier et eau.

2 - Le malaxage :

L'opération est exécutée manuellement comme suit :

\* On pose l'argile rouge sec avec argile vert / fibre avec une quantité d'eau (1/3 de quantité globale d'eau) au départ en versant l'eau d'une façon progressive et on malaxe le mélange durant 30 à 180 secondes jusqu'à l'obtention d'une pâte homogène et bien mouillée

3 - Préparation des moules : après le nettoyage et graissage à l'aide d'une huile les moules sont prêts pour utilisation

4 - Coulage des éprouvettes : cette opération est exécutée en trois couches successives compactées manuellement à l'aide d'une plaque métallique d'épaisseur de 1 cm

5 - Une opération de finition est exécutée sur le parement supérieur des éprouvettes pour obtenir des surfaces lisses.

6 - Après démoulage les éprouvettes sont conservées à l'air libre au sein du laboratoire et que l'on laisse sécher pendant environ 28 jours.

### **III.1 Conclusion**

Dans ce chapitre sont exposées les étapes nécessaires pour mesurer la Conductivité thermique. Les méthodes dites « instationnaire » sont les plus adaptées.

Pour mesurer la conductivité thermique. Dans notre étude nous avons utilisées le CT mètre.

Pour obtenir les caractéristiques thermiques, mesurer les propriétés mécaniques

Tel que la résistance à la flexion et à la compression et à la fin faire une faisabilité des prototypes selon des procédés bioclimatiques. A la fin nous avons présenté les caractéristiques des matériaux élémentaires ainsi que les prototypes utilisés

### **IV .1. Introduction :**

L'étape expérimentale de notre travail consiste à une confection de terre à base de l'argile, puis différents essais ont été effectués sur les éprouvettes (argile) l'age de 28 jours à savoir à :

- les masses volumiques.

-les porosités.

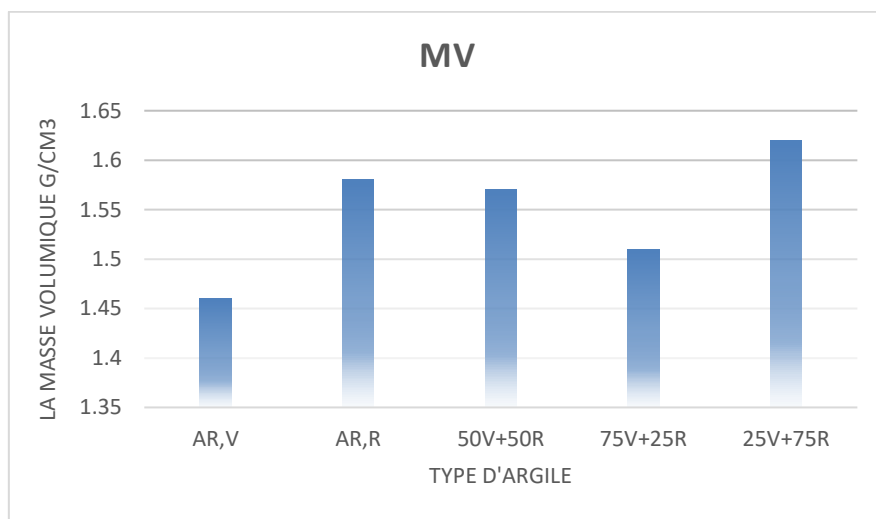
-Résistance à la flexion et à la compression.

Par la suite les analyses et les interprétations des résultats, Il est à noter que tous ces essais sont effectués dans les conditions ambiante de laboratoire de génie civil université de M'sila.

- **IV .1 .La masse volumique :** La masse volumique  $\rho$  d'un corps (solide) se calcule grâce à la masse  $m$  de ce corps et le volume  $V$  occupé par ce corps, selon la relation  $\rho = \frac{m}{V}$ .
- $m$  la masse du corps, en gramme (g)
- $V$  le volume occupé par ce corps (solide), en centimètre cube (cm)
- $\rho$  la masse volumique de ce corps, en gramme par centimètre cube (g/cm<sup>3</sup>)
- 

**IV .1.1 Variation de la masse volumique en fonction du pourcentage de fibre de palmier**

La figure IV-1 montre la variation de la masse volumique sans fibre.

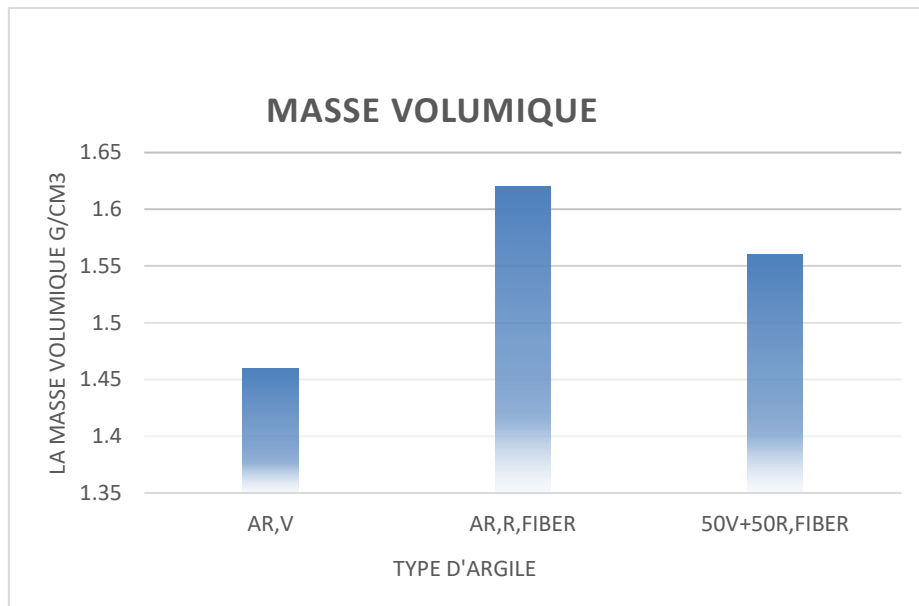


**Figure IV-1. La masse volumique en fonction du type d'argile sans fibre de palmier.**

D'après le résultat de la **Figure IV-1** nous pouvons observer que La masse volumique change en fonction de besoin en eau. En effet, l'argile verte montre une masse volumique moins importante est l'argile mélange de 25v +75r montre une masse plus importante

**IV 1.2. Variation de la masse volumique en fonction du pourcentage de fibre de 0.5%**

La figure IV-2 montre la variation de la masse volumique en fonction du 0.5% de fibre de palmier

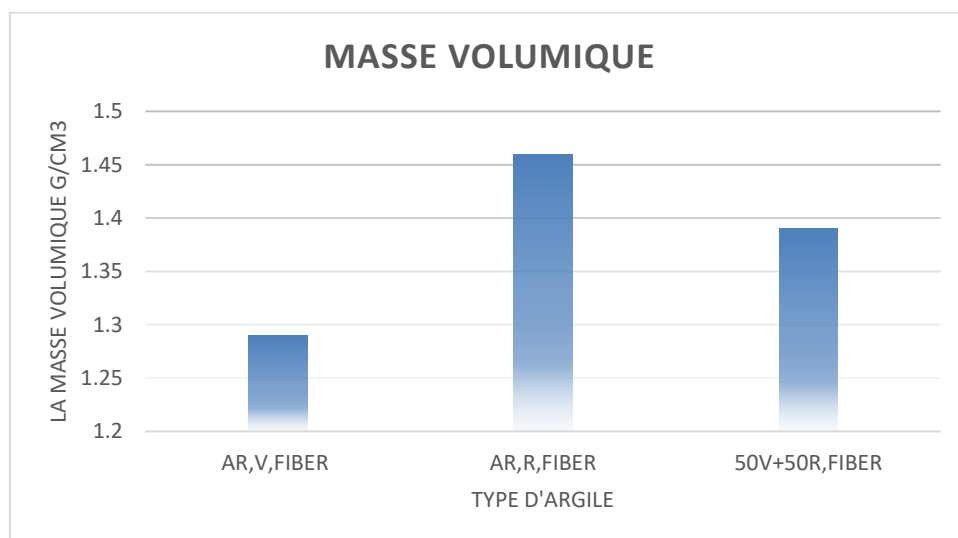


**Figure IV-2.**La masse volumique en fonction du type d’argile avec 0.5% fibre de palmier.

D’après le résultat de la **Figure IV-2** nous pouvons observer que La masse volumique l’argile rouge avec fibre montre une masse volumique plus importante par rapport au autre type d’argile .

**IV.1 .3 Variation de la masse volumique en fonction du pourcentage de fibre de palmier de 1%.**

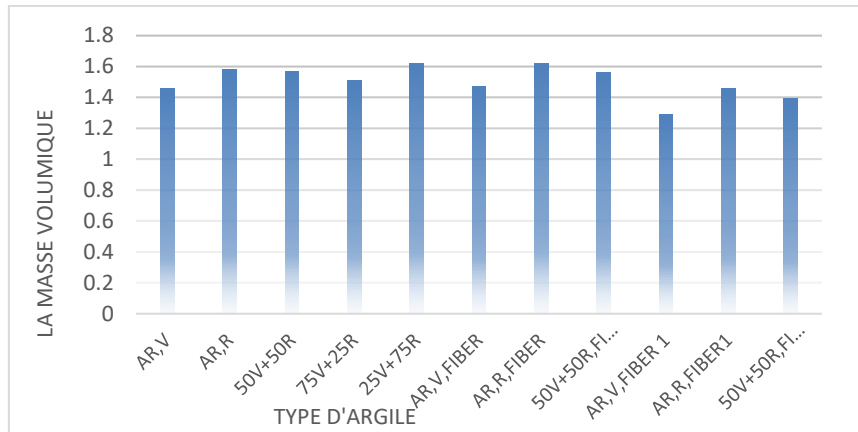
La figure IV-2 montre la variation du la masse volumique en fonction du 0.5% de fibre de palmier .



**Figure IV-3.**La masse volumique en fonction du type d’argile avec 1% fibre de palmier.

D’après le résultat de la **Figure IV-3** nous pouvons observer que La masse volumique l’argile rouge avec fibre montre une masse volumique plus importante par rapport au autre type d’argile .

**IV 1.4 Variation de la masse volumique en fonction des fibres avec et sans .**



**Figure IV-4 .La masse volumique en fonction du type d’argile avec et sans fibre.**

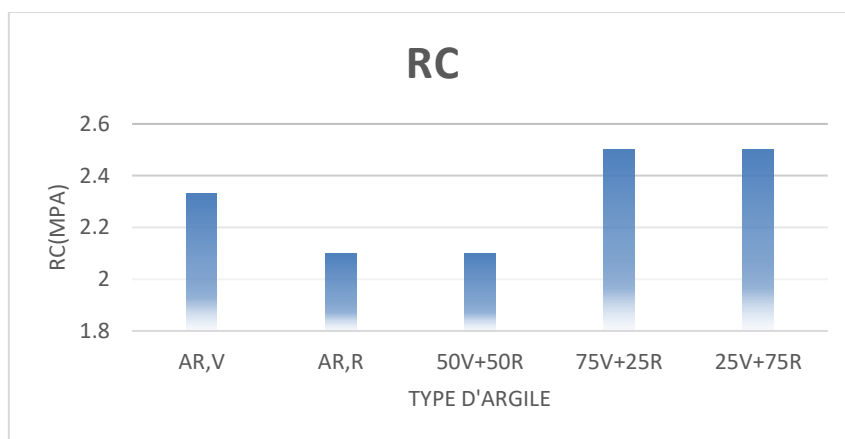
D’après le résultat de la Figure 4 nous pouvons observer que: la masse volumique en fonction du pourcentage des fibres, le 0.5% de fibre montre une bonne résultats par rapport aux autre types.

Donc une l’augmentation de la masse volumique influe favorablement sur le comportement du mortier .

**IV .2.la résistance à la compression .**

**IV .2.1 Variation de la résistance à la compression en fonction du pourcentage de fibre de palmier**

La figure 5 montre la variation de la résistance à la compression sans fibre.

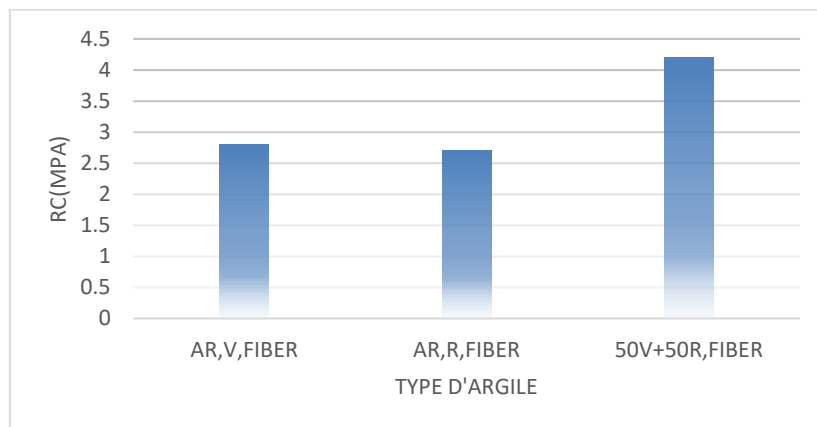


**Figure IV-5.La résistance à la compression en fonction du type d’argile sans fibre de palmier.**

D’après le résultat de la **Figure IV-5** nous pouvons observer que résistance à la compression change en fonction de besoin en eau. En effet, l’argile verte montre une bonne résistance par rapport au autre mélange .

**IV 2.2. Variation de la résistance à la compression en fonction du pourcentage de fibre de 0.5%**

La figure 6 montre la variation de la résistance à la compression en fonction du 0.5% de fibre de palmier

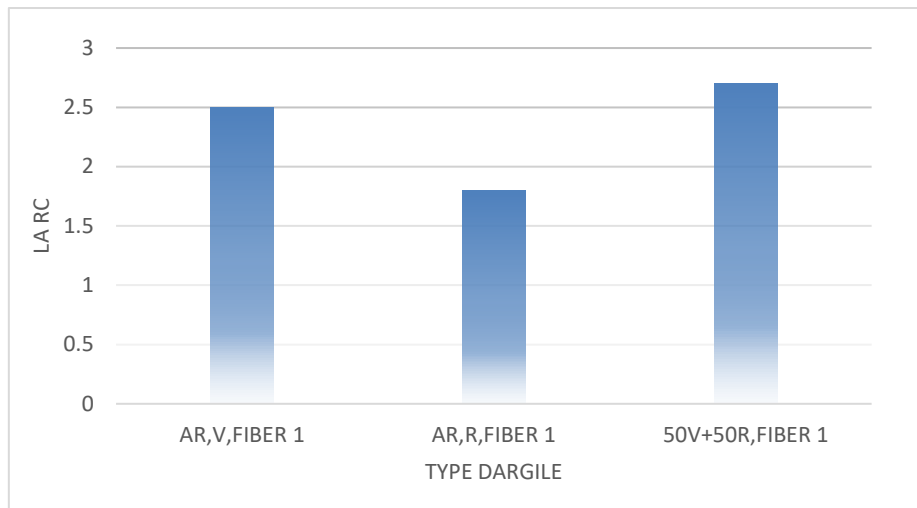


**Figure 6.La la résistance à la compression en fonction du type d’argile avec 0.5% fibre de palmier.**

D’après le résultat de la **Figure 6** nous pouvons observer que la résistance à la compression l’argile rouge et le mélange avec fibre montre une résistance plus importante par rapport au autre type d’argile .

**IV.2 .3 Variation de La résistance à la compression en fonction du pourcentage de fibre de palmier de 1%.**

La figure 7 montre la variation du la résistance à la compression en fonction du 1% de fibre de palmier

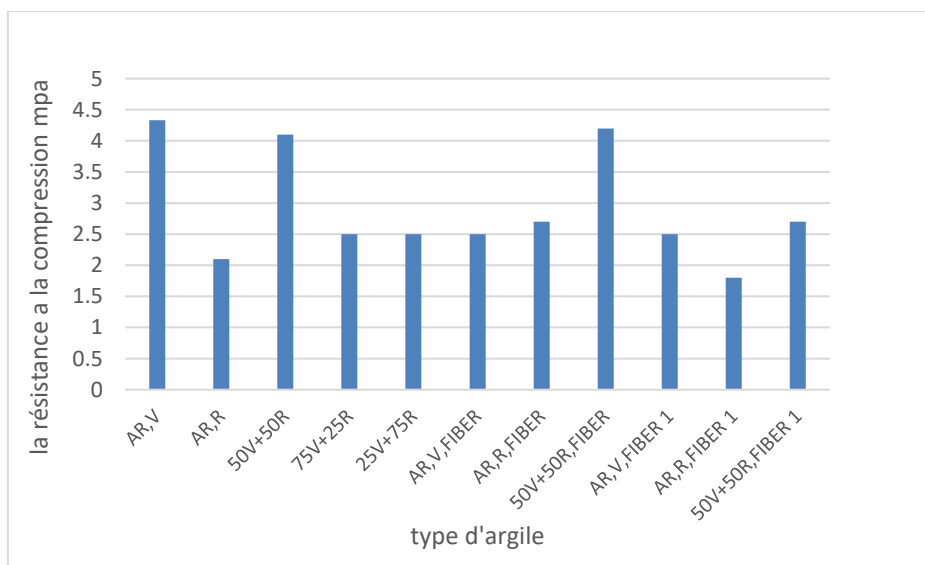


**Figure IV-7. La résistance à la compression en fonction du type d’argile avec 1% fibre de palmier.**

D’après le résultat de la **Figure 7** nous pouvons observer que la résistance à la compression l’argile verte avec fibre montre une résistance à la compression plus importante par rapport au autre type d’argile .

**IV 1.4 Variation de la résistance à la compression en fonction des fibres avec et sans fibre.**

La figure 8 montre la variation de la résistance à la compression en fonction fibre de palmier.



**Figure IV-8.La résistance à la compression en fonction du type d’argile avec et sans fibre de palmier.**

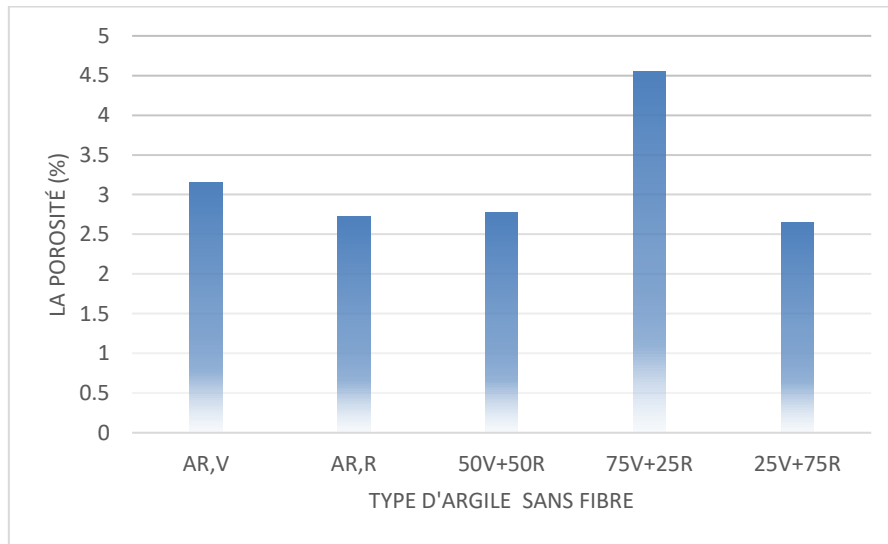
D’après le résultat de la **Figure IV-8** nous pouvons observer que résistance à la compression change en fonction de besoin en eau. En effet, l’argile verte sans fibre montre une bonne résistance par rapport ou autre mélange .

**IV .3.la porosité.**

• Détermine la porosité, en calculant le pourcentage de ce volume d’eau par rapport au volume de la vide : Porosité (en %) =  $(m_h - m_s) / m_s \times 100$

**IV .3.1 Variation la porosité en fonction du pourcentage de fibre de palmier**

La figure 9 montre la variation de la porosité sans fibre



**Figure IV-9 La porosité en fonction du type d’argile sans fibre de palmier.**

D’après le résultat de la **Figure 9** nous pouvons observer que la porosité change en fonction de besoin en eau. En effet, l’argile rouge montre une bonne compacité moins par rapport au autre mélange.

**IV 3.2. Variation de la porosité en fonction du pourcentage de fibre de 0.5%**

La figure 10 montre la variation de la porosité en fonction du 0.5% de fibre de palmier

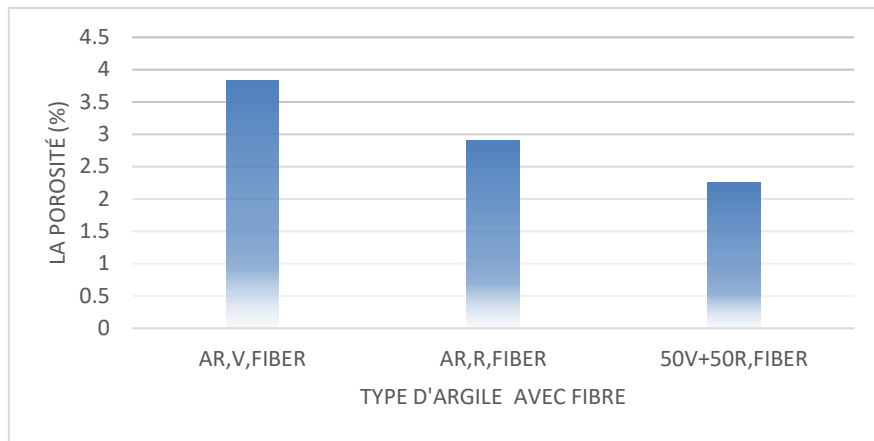


Figure 10 .La porosité en fonction du type d'argile avec 0.5% fibre de palmier.

D'après le résultat de la **Figure 10** nous pouvons observer que la porosité de l'argile mélange montre une compacité plus importante par rapport ou autre type d'argile

**IV.2 .3 Variation de La porosité en fonction du pourcentage de fibre de palmier de 1%.**

La figure 11 montre la variation du la porosité en fonction du 1% de fibre de palmier

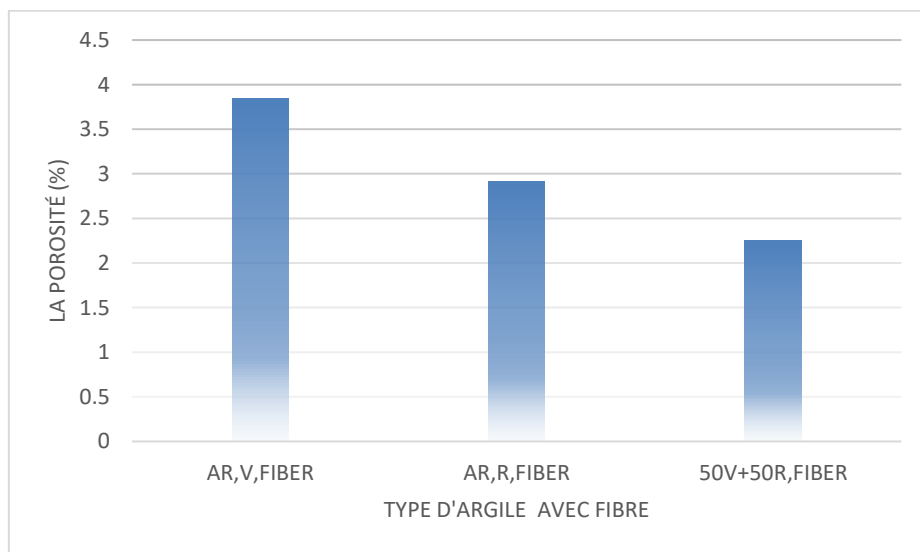
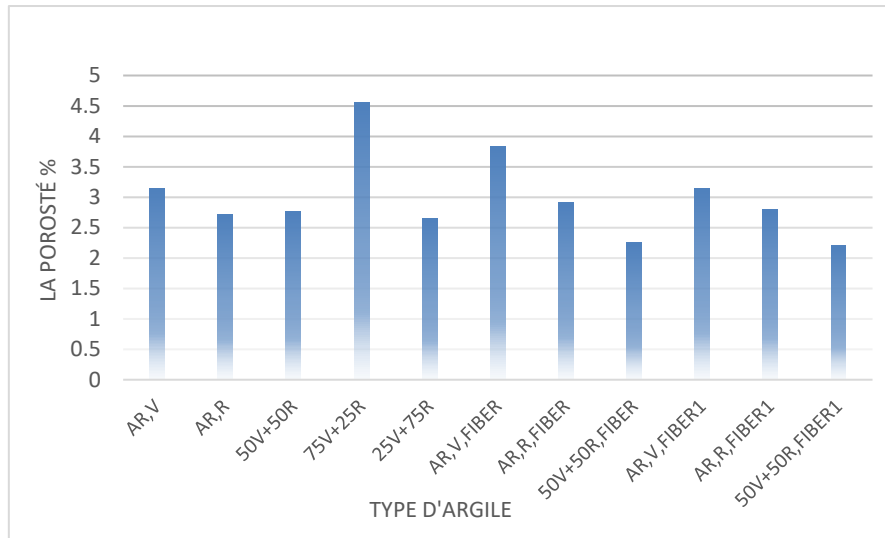


Figure IV-11. La porosité du type d'argile avec 1% fibre de palmier.

D'après le résultat de la **Figure 10** nous pouvons observer que la porosité l'argile mélange avec fibre montre une compacité plus importante par rapport au autre type d'argile.

**IV 3.4 Variation de la porosité en fonction des fibres avec et sans fibre .**

La figure 12 montre la variation de la porosité en fonction fibre de palmier.



**Figure IV-12. La porosité en fonction du type d'argile avec et sans fibre de palmier.**

D'après le résultat de la **Figure IV-12** on constate que la porosité change en fonction de besoin en eau. En effet, l'argile mélange avec fibre montre une porosité importante par rapport au autre mélange

# **CONCLUSION**

## **GENERALE**

## CONCLUSION GENERALE

---

### CONCLUSION GENERALE

Globalement, nous dirons que le résultat de cette étude a mis en évidence les aspects qui ont impacté sur le renforcement de brique de terre à base d'argile de la région de M'sila.

D'un point de vue pratique, les résultats présentés dans cette étude montrent que le choix de Sol a une incidence notable sur le comportement mécanique de brique. Cependant, un mauvais choix de l'argile peut coûter très cher au long terme.

Donc les briques d'argile en terre utilisées pour la construction de l'enveloppe de bâtiment. Dans notre étude nous avons réalisé des briques crues non cuites en vue d'amélioration.

Les propriétés mécaniques. Cette partie de notre travail a été consacrée à la présentation et à l'exploitation des résultats obtenus.

Après l'expérimentation nous pouvons tirer les conclusions suivantes, la variation de ces paramètres est due à la nature des pourcentages de dosage d'argile dans la composition. En fonction et en fonction de l'augmentation du pourcentage de fibre de palmier.

Le pourcentage 75 de l'argile vert et 25 de l'argile rouge sans fibre en brique ayant la meilleure résistance par rapport à l'autre dosage.

La présence des fibres améliore la résistance mécanique des briques.

Les résultats expérimentaux indiquent que les briques ont présenté une meilleure résistance dès la brique qui avait 50 % argile vert et 50 % argile rouge avec 0.5% des fibres. Les résistances moyennes qui varient entre 1,5 et 4,2 MPA et entre 1,00 et 3,0, ces résistances sont acceptables pour les briques en argile et en fibre. Avec la brique nous avons obtenu les meilleurs résultats mécaniques.

Sur le côté résistance nous avons constaté que toutes les compositions utilisées ont présenté de bonne résistance mécanique. Nos briques sont à la limite acceptables.

L'étude entamée sur les prototypes a montré l'efficacité de l'incorporation des fibres de palmier dans les briques.

### Recommandations

D'après les résultats obtenus par cette recherche, et en vue d'une future utilisation

## CONCLUSION GENERALE

---

Rationnelle et efficace des matériaux locaux, nous recommandons les axes suivants :

- Confectionner de brique à base de l'argile et d'autre les matériaux isolant local tel que les fibres ;
- Etude des caractéristiques de briques utilisées dans la construction d'habitat avec les Matériaux isolant et autres matériaux locaux ;
- Changer le processus de fabrication des produits rouges en vue d'une obtention D'une brique ayant une meilleure propriété mécanique.

# **Référence**

# **bibliographiques**

## Référence bibliographiques

---

### Référence bibliographiques

- [1] Traore, Y., Messan, A., Tsobnang, F., & Gerard, J. (2014, November). Influence du traitement des coques de noix de palme sur les propriétés physico-mécaniques des bétons légers.
- [2]. Baali, M. (2012). *Contribution à la caractérisation et à l'exploration de la microstructure et des propriétés des constituants du palmier* (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).
- [3] NENONENE Amen Yawo, « Elaboration et caractérisation mécanique de panneaux de particules de tige de kéraf et de bioadhésifs à base de colle d'os, de tannin ou de mucilage », thèse de doctorat soutenue le 10 juillet 2009, l'université de Toulouse.
- [4] Roger M. Rowell, "Handbook of: Wood Chemistry and Wood Composites", 2005 by CRC Press.
- [5] Mohssine Moutee, « Modélisation du comportement mécanique du bois au cours du séchage », thèse de doctorat soutenue le aout 2006, l'université de Laval.
- [6] Christophe JAMMES, « Co-valorisation d'effluents graisseux et de résidus lignocellulosiques : déshydratation mécanique et compostage », thèse de doctorat soutenue le 23 mars 2007, université de LIMOGES.
- [7] Ibtissam, A. (2017). *Etude expérimentale et numérique de effet d'orientation des fibres sur le comportement mécanique d'un bio-composite* (Doctoral dissertation, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA).
- [8] VALLADE. J., «Structure et développement de la plante. Morphogénèse et biologie de la reproduction des angiospermes», Dunod , Paris, 1999.
- [9] THIERY. J.P, «Mise en évidence des polysaccharides sur coupes fines en microscopie électronique», J. Microsc., p987, 1967.
- [10] BOSSUYT. V, «Étude de la structure et des propriétés mécaniques de la fibre de lin», PhD thesis, Lille, 1941
- [11] BRETT. C.T. AND WAMDRON. K.W, «Physiology and biochemistry of plant cell walls», Chapman et Hall, 1996.

## Référence bibliographiques

---

- [12] **NILSSON. T AND GUSTAFSSON. P.J**, «Influence of dislocation and plasticity on the tensile behaviour of flax and hemp fibres», *Composites: Part A*, p1722-1728, 2007.
- [13] **SEDAN. D**, «Etude des interactions physico-chimiques aux interfaces fibres de chanvre/ciment. Influence sur les propriétés mécaniques du composites», thèse doctorat de l'université de limoges, matériaux céramiques et traitement de surface, 2007.
- [14] **HATSCH. D**, «étude du modèle *Cumulus lupulus Fusarium graminearum*. Identification, génomique et transcriptomique du pathogène», thèse de doctorat, Sciences du Vivant – Aspects moléculaires et cellulaires de la biologie.2004.
- [15] **MONTIES. B**, «Les polymères végétaux - Polymères pariétaux et alimentaires non azotés», Gauthier Villars (ed), Paris (1980).
- [16] **THIEBAUD. S**, «Valorisation chimique de composés lignocellulosiques», thèse de doctorat, Institut National Polytechnique De Toulouse, Sciences des Agro-ressources, 1995.
- [17] **BOUSTINGORRY. P**, «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, Génie des procédés, 2002.
- [18] **Yahiaoui, L.** (2018). *Caractérisation d'un composite à la rupture à base des fibres végétales (Diss)* (Doctoral dissertation).
- [19]: **K.Charle, C.morvan, J.Bréard, JP.Jernot, M.Gomina**, 'Etude morphologique d'un composite naturel la fibre de lin' revue des composites et des matériaux avancées, Vol16, pp11-24,2006.
- [20]: **R.M. Rowell** ' Composite Materials from Agricultural Resources' Olsen, Ole; Rexen, Finn; Larsen, Jorgen, eds. Research in industrial application of non-food crops, I: plant fibers: Proceedings of a seminar; 1995 May; Copenhagen, Denmark.Linkboy, Denmark Academy of Technical Science: 27-41
- [21] **MALHA Mustapha**, «Mise en œuvre, caractérisation et modélisation de matériaux composites : polymère thermoplastique renforcé par des fibres de Doum», Université Mohammed V –AGDAL, Mars 2013.

## Référence bibliographiques

---

- [22] **Sbiai, A. (2011).** *Matériaux composites à matrice époxyde chargée par des fibres de palmier dattier: effet de l'oxydation au tempo sur les fibres* (Doctoral dissertation, Lyon, INSA).
- [23] **P. MUNIER**, « Le palmier dattier » G.P. Maisonneuve et Larose - France, 1973.
- [24] **Bezazi, A., Amroune, S., Scarpa, F., Dufresne, A., & Imad, A. (2020).** Investigation of the date palm fiber for green composites reinforcement: Quasi-static and fatigue characterization of the fiber. *Industrial Crops and Products*, 146, 112135.
- [25] **Manimaran, P., Sanjay, M. R., Senthamaraikannan, P., Jawaid, M., Saravanakumar, S. S., & George, R. (2019).** Synthesis and characterization of cellulosic fiber from red banana peduncle as reinforcement for potential applications. *Journal of Natural Fibers*, 16(5), 768-780.
- [26] **Maache, M., Bezazi, A., Amroune, S., Scarpa, F., & Dufresne, A. (2017).** Characterization of a novel natural cellulosic fiber from *Juncus effusus* L. *Carbohydrate polymers*, 171, 163-172.
- [27] **TY - THESAU - Nilsson, Torulf PY - 2006/04/02 SP - T1 - Micromechanical Modelling Of Natural Fibres For Composite Materials DO - 10.13140/RG.2.1.3003.2081 ER**
- [28] **Abida, M. (2018).** *Comportement hygroscopique et couplage hygromécanique dans les composites lin/époxy: approche expérimentale multi-échelle et modélisation* (Doctoral dissertation, Normandie).
- [29] **Amroune, S., Bezazi, A., Belaadi, A., Zhu, C., Scarpa, F., Rahatekar, S., & Imad, A. (2015).** Tensile mechanical properties and surface chemical sensitivity of technical fibres from date palm fruit branches (*Phoenix dactylifera* L.). *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 71, 95-106.
- [30] **Senthamaraikannan, P., and M. Kathiresan.** "Characterization of raw and alkali treated new natural cellulosic fiber from *Coccinia grandis*. L." *Carbohydrate Polymers* 186 (2018): 332-343.
- [31] **Jayaramudu, J., Guduri, B. R., & Rajulu, A. V. (2010).** Characterization of new natural cellulosic fabric *Grewia tilifolia*. *Carbohydrate polymers*, 79(4), 847-851.

## Référence bibliographiques

---

- [32] **Indran, S., Raj, R. E., & Sreenivasan, V. S.** (2014). Characterization of new natural cellulosic fiber from *Cissus quadrangularis* root. *Carbohydrate polymers*, *110*, 423-429.
- [33] **Bourahli, M. E. H.** (2018). Uni-and bimodal Weibull distribution for analyzing the tensile strength of Diss fibers. *Journal of Natural Fibers*, *15*(6), 843-852.
- [34] **Poîlâne, C., Vivet, A., Momayez, L., Doudou, B. B., Ayachi, M. H., & Chen, J.** (2009, June). Traction de fibre unitaire et mesure des déformations en champ complet. Application à la fibre de lin= Full field strain measurement of flax fibre during tensile test.
- [35] **ILCZYSZYN, F., CHEROUAT, A., & MONTAY, G.** (2011). Nouvelle approche pour la caractérisation mécanique des fibres naturelles. In *Congrès français de mécanique*. AFM, Maison de la Mécanique, 39/41 rue Louis Blanc, 92400 Courbevoie, France (FR).
- [36] **DJOUHRI Mohamed.** Confection d'une brique à base de sable de dunes.2007. Thèse de doctorat: Génie civil: université kasdi merbah Ouargla
- [37] **MEKHERMECHE Abdessalam.** Contribution à l'étude des propriétés mécaniques et thermiques des briques en terre en vue de leur utilisation dans la restauration des Ksours sahariennes.2012 thèse de magister: Géo-Matériaux: université kasdi merbah Ouargla
- [38] **CHAIB Hachem.** Contribution à l'Etude des Propriétés Thermo-Mécaniques des Briques en Terre Confectionnée par des Fibres Végétale Locale. (Cas de la ville de Ouargla).2017 : thèse de doctorat:Géo-Matériaux: université kasdi merbah Ouargla
- [39] **HAKKOUM Soumia.** Etude des caractéristiques thermiques et mécaniques des briques en terre cuite traditionnelles dans les régions de la wilaya de Ouargla.2015.thèse de magister: Géo-Matériaux: université kasdi merbah Ouargla
- [40] **BLOCS DE TERRE COMPRIMÉE - MATERIAU DE CONSTRUCTION** [en ligne ]. Disponible à l'adresse : [https://www.oskamvf.com/blocs\\_%20de\\_terre\\_comprimee.html](https://www.oskamvf.com/blocs_%20de_terre_comprimee.html)
- [41] **maçonnerie. les meilleurs artisans de votre région** [en ligne]. Disponible à l'adresse: <https://www.travaux-maçonnerie.fr/brique-terre-cuite-avantages-prix>
- [42] **maison écologique** , les briques en terre cuite[en ligne]. Disponible à l'adresse: <http://www.guidemaisonecologique.com/les-briques-en-terre-cuite/>