



Université Mohamed Khider de Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Mécanique

# MÉMOIRE DE MASTER

**Domaine : Sciences et Techniques**

**Filière : Génie Mécanique**

**Spécialité : Construction Mécanique**

Réf. : Entrez la référence du document

---

Présenté et soutenu par :

**Imen LEFRIKI**

Le : lundi 27 juin 2022

## **Influence de la géométrie des fibres sur les comportements mécaniques d'un matériau bio- composite**

---

**Jury :**

**Pr. Mabrouk HECINI**

**Pr Université de Biskra**

**Président**

**Dr. Tarek DJOUDI**

**MCA Université de Biskra**

**Rapporteur**

**Dr. Hocine DJEMAI**

**MCB Université de Biskra**

**Examineur**

Année universitaire : 2021 - 2022

## *Dédicace*

*Je dédie ce mémoire à :*

*Ceux qui m'ont donné la vie, mes parents*

➤ *Ma mère : Meriem*

➤ *Mes frères : Kamel, Djamel, Lahcen*

*Pour tous les sacrifices consentis en tout temps, surtout les moments  
mauvais, Pour leur soutien durant toutes mes années d'études.*

*Mes amis et collègues de l'étude*

*IMENLEFRIKI*

## ***Remerciement***

*Après avoir remercié Dieu qui m'a donné la force, la patience et le courage pour finir ce modeste travail.*

*Je tiens à remercier particulièrement Monsieur DJOUDI Tarek, le encadrant de ma mémoire, pour son soutien, sa gentillesse et sa patience depuis le choix du sujet jusqu'à la dernière lecture.*

*Je remercie également le comité de discussion pour leur rôle d'évaluation et valorisation de cette étude. le président du comité de discussion " Pr. Mabrouk HECINI ", et Examineur " Dr. Hocine DJEMAI ".*

*Je remercie tous les enseignants du département de génie mécanique.*

*Je remercie Institut d'I.T.D.A.S pour son aide et le savoir qu'il m'a transmis.*

*Je remercie encore tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à la réalisation de ce projet.*

***Merci à tous***

***IMENLEFRIKI***

Liste des tableaux	I
Liste des figures	II
Introduction	2

## Chapitre I- Généralités sur les matériaux composites

<b>I.1 Élément composant</b>	<b>4</b>
I.1.1 Classifications des composites	4
<b>I.2 Avantages et inconvénients des matériaux composites</b>	<b>7</b>
<b>I.3 Procédés de fabrication des composites</b>	<b>7</b>
<b>I.4 Matériaux végétaux de palmier dattier</b>	<b>9</b>
I.4.1 La palme	9
I.4.2 Domaines d'utilisations des déchets de palmier dattier	9

## Chapitre II- Elaboration et préparation du matériau

<b>II.1 Elaborations et préparation des matériaux</b>	<b>12</b>
<b>II.2 Fibres végétale</b>	<b>12</b>
II.2.1 Extraction des fibres	12
II.2.1.1 Processus de Broyage	12
II.2.1.2 Processus de tamisage	13
II.2.1.3 Processus de Nettoyage	14
II.2.1.4 Processus de Séchage	15
<b>II.3 Plaques en bio-composite</b>	<b>16</b>
II.3.1 Fibres des rachis	16
II.3.2 Matrice	17
II.3.3 Bio-composite	17
<b>II.4 Présentation des matériaux</b>	<b>19</b>
II.4.1 Préparation des éprouvettes de fibres	19

## Chapitre III- Caractérisation physico-mécanique des matériaux bio-composite

<b>III.1 Caractérisations physico-mécanique</b>	<b>21</b>
III.1.1 Propriété physique des fibres	21
III.1.1.1 Taux d'humidité	21
III.1.2 Propriété mécanique de composite	21
III.1.2.1 Essai de flexion trois points du composite (F3P)	22
<b>III.2 Résultats et discussions</b>	<b>23</b>
III.2.1 Propriété physique de la fibre	23

---

III.2.1.1 Taux d'humidité	23
III.2.2 Propriété mécanique de composite	25
III.2.2.1 Essai de flexion trois points du composite (F3P)	25
<b>Conclusion</b>	<b>29</b>
<b>Références</b>	<b>30</b>

### Chapitre -III-

<b>Tableau III.1</b> : Evolution de la masse à différents tailles des fibres pendant le séchage.	23
<b>Tableau III.2</b> : Variation de taux d'humidité à séchage T=110°C.	24
<b>Tableau III.3</b> : Résultats de l'essai de flexion trois points des éprouvettes à différentes tailles des fibres.	25
<b>Tableau III.4</b> : Résultats de l'essai de flexion trios points des éprouvettes (FR).	25

## Chapitre -I-

<b>Figure I.1</b> : Schéma illustratif d'un matériau composite.	4
<b>Figure I.2</b> : Classification des composites selon le type de la matrice.	5
<b>Figure I.3</b> : Classification des composites selon la catégorie de renfort.	6
<b>Figure I.4</b> : Classification du composite selon la forme des renforts.	6
<b>Figure I.5</b> : Quelques procédés de mise en œuvre des composites.	8
<b>Figure I.6</b> : Mise en œuvre des matériaux composites selon la nature de la matrice.	8
<b>Figure I.7</b> : Différentes parties d'une palme.	9
<b>Figure I.8</b> : Déches des palmiers dattiers : palmes sèches.	9
<b>Figure I.9</b> : Clôture en Palmier Dans Le Sable.	10
<b>Figure I.10</b> : Vannerie en feuilles de palme.	10
<b>Figure I.11</b> : Chapeau en feuilles sèche de palme.	10

## Chapitre -II-

<b>Figure II.1</b> : Premier protocole du broyage.	13
<b>Figure II.2</b> : Second broyage.	13
<b>Figure II.3</b> : Tamiseuse.	14
<b>Figure II.4</b> : Différentes types des fibres.	14
<b>Figure II.5</b> : Processus du nettoyage des fibres.	15
<b>Figure II.6</b> : Manière de nettoyage des fibres fine.	15
<b>Figure II.7</b> : étuve (DIN EN 61010-1(07.2011)).	16
<b>Figure II.8</b> : Fibres en séchage.	16
<b>Figure II.9</b> : Résine époxy.	17
<b>Figure II.10</b> : Résine époxy après leur mélange.	17
<b>Figure II.11</b> : Modèle des moules.	18
<b>Figure II.12</b> : protocole préparation le mélange (fibres et époxy).	18
<b>Figure II.13</b> : Plaque démoulée.	19
<b>Figure II.14</b> : Découpage des éprouvettes.	19
<b>Figure II.15</b> : Spécimens des éprouvettes des fibres de l'essai de flexion trois points (F3P).	19

## Chapitre -III-

<b>Figure III.1</b> : (a) étuve électrique (DIN EN 61010-1), (b) balance électrique (Kern.v3.1)	21
---	----

<b>Figure III.2 :</b> Machine universelle de type TEST GmbH (D-40699 Erkrath).	22
<b>Figure III.3 :</b> essai de flexion trois points.	23
<b>Figure III.4 :</b> (a) Variation taux d'humidité de fibres, (b) valeurs des taux d'humidité maximale.	24
<b>Figure III.5 :</b> (a) courbe type charge-déplacements, (b) éprouvette (FR) après l'essai.	26
<b>Figure III.6 :</b> (a) module d'élasticité, (b) contrainte maximale.	27



*Introduction*  
*Générale*

## ***Introduction***

Dans les années soixante, des efforts ont été déployés pour la fabrication et la caractérisation des matériaux composites. Les composites sont des matériaux à très hautes performances mécanique, aussi peuvent être façonnés à volonté au gré du concepteur, manière à obtenir les propriétés souhaitées en faisant un choix approprié des constituants.

Les matériaux composites changent considérablement l'approche conventionnelle du dimensionnement des structures habituellement utilisée pour les matériaux traditionnels.

Les matériaux composites ne cessent de se développer. Aujourd'hui, on trouve ces matériaux innovants pratiquement dans tous les domaines.

Le développement des nouveaux matériaux est soumis aux besoins des utilisateurs (constructeurs) qui veulent toujours des matériaux plus performants et plus économiques. Les chercheurs sont le plus souvent amenés à optimiser les solutions déjà utilisées, mais dans certains cas, ils doivent complètement restructurer le problème et envisager des nouveaux matériaux, comme l'implémentation des matériaux végétaux comme renfort dans la mise en œuvre des matériaux composites, qui est le sujet de notre étude.

Dans ce contexte, nous proposons dans ce travail d'étudier l'influence des fibres végétales extraites du palmier dattier et les utiliser dans l'élaboration des matériaux bio-composites. Pour répondre à cette question nous avons tracé les objectifs suivants :

- Recyclage et l'exploitation des déchets des palmiers dattiers.
- Caractérisations mécanique d'un nouveau matériau bio-composite à base des fibres du palmier dattier

Pour présenter cette étude, le manuscrit se scinde en trois chapitres :

Le premier chapitre est des généralités présentent la classification des matériaux composites en fonction de plusieurs paramètres, y compris la classification selon la catégorie du renfort utilisé. En outre, cette présentation vise à démontrer les différents constituants entrant dans la mise en forme des matériaux bio-composites et l'importance de la matière végétale dans la fabrication de ces matériaux.

Le deuxième chapitre est consacré à la préparation des matières premières utilisées dans cette étude. Nous avons sélectionné la fibre extraite des déchets de palme du palmier dattier. De plus, nous avons préparé des plaques en composite à base de ces fibres et une matrices thermodurcissable (époxy) avec des différentes tailles des fibres.

Dans le troisième chapitre. Nous avons effectué une caractérisation physique sur les fibres et une caractérisation mécanique sur des échantillons composites au moyen d'un test de flexion trois points.

A la fin de ce travail, la flexibilité des plaques sont affectées par la taille des fibres utilisées.

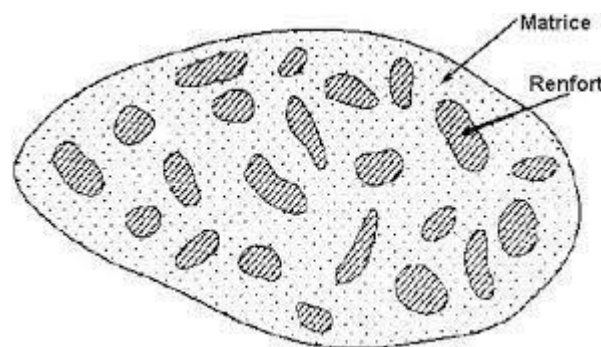
***Chapitre -I-***  
***Généralités sur les matériaux***  
***composites***

Dans ce chapitre, nous avons donné une définition des éléments constitutifs des matériaux composites ; De plus, nous proposons de présenter une classification des différents matériaux composites bio-sources. Ensuite, nous présentons quelques domaines d'application des palmiers dattiers.

## I.1 Élément composant

Le consensus sur la définition de matériau composite s'articule autour du fait que le composite est un matériau multi-phase formé à partir d'une combinaison de matériaux qui diffèrent par leur composition et leur forme. Ces composants sont généralement la matrice et les renforts, liés les uns aux autres en conservant leurs identités et propriétés. Ces constituants doivent assurer une forte capacité d'adhésion afin de constituer un matériau aux propriétés nouvelles qui ne peuvent être obtenues par aucun des composants d'origine agissant seuls. [1,2]

Un matériau composite, comme il est représenté dans la [Figure I.1](#) est constitué essentiellement d'un matériau fibreux, jouant le rôle de renfort et il assure la tenue mécanique (résistance à la traction et rigidité), souvent de nature filamentaire (fibres organiques ou inorganiques) et, un matériau résineux, appelé matrice, qui lie les fibres renforts, répartit les efforts (résistance à la compression ou à la flexion) et assure une bonne protection chimique du matériau.



[Figure I.1](#). Schéma illustratif d'un matériau composite. [3]

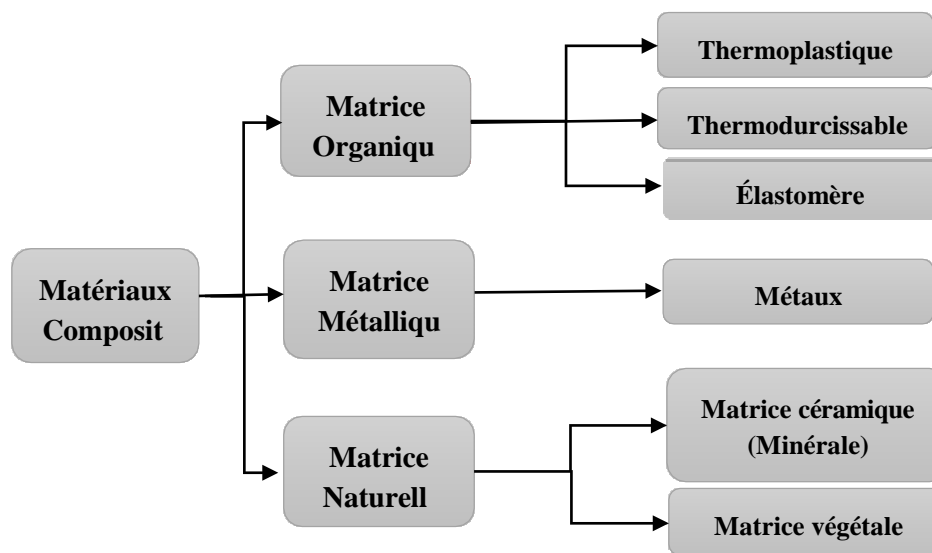
### I.1.1 Classifications des composites [4]

Les composants sont généralement la matrice et les renforts, liés les uns aux autres en conservant leurs identités et propriétés. Ces constituants doivent assurer une forte capacité d'adhésion afin de constituer un matériau aux propriétés nouvelles qui ne peuvent être obtenues par aucun des composants d'origine agissant seuls. L'intérêt croissant des composites est dû principalement aux possibilités de gain de poids et de réalisation de pièces complexes. [1, 2]

Les composites peuvent être classés selon de nombreuses caractéristiques dues au renforcement ou à la matrice. Nous proposons trois catégories parmi les plus courantes.

*a) Classification des composites selon le type de la matrice*

La classification habituellement utilisée dans ce cas est décrite selon les trois principales matrices utilisées, les composites à matrice organique CMO, les composites à matrice céramique CMC et les composites à matrice métallique CMM [4]. Mais pour l'impérieuse nécessité de protection de la santé environnementale, des matrices naturelles ont été utilisées [5]. La Figure I.2 représente une classification des composites selon la nature de la matrice.



*Figure I.2. Classification des composites selon le type de la matrice matrice. [4]*

*b) Classification selon la catégorie du renfort*

La matrice est renforcée avec différentes fibres en termes d'origine ou de forme. Les composites fibreux peuvent être classés en deux catégories selon les catégories des fibres : fibres inorganiques et fibres organiques. Ces fibres peuvent se présenter sous différentes formes : forme linéique, forme surfacique et en forme multidirectionnelle [5]. La Figure I.3 représente une classification des composites selon la catégorie de renfort.

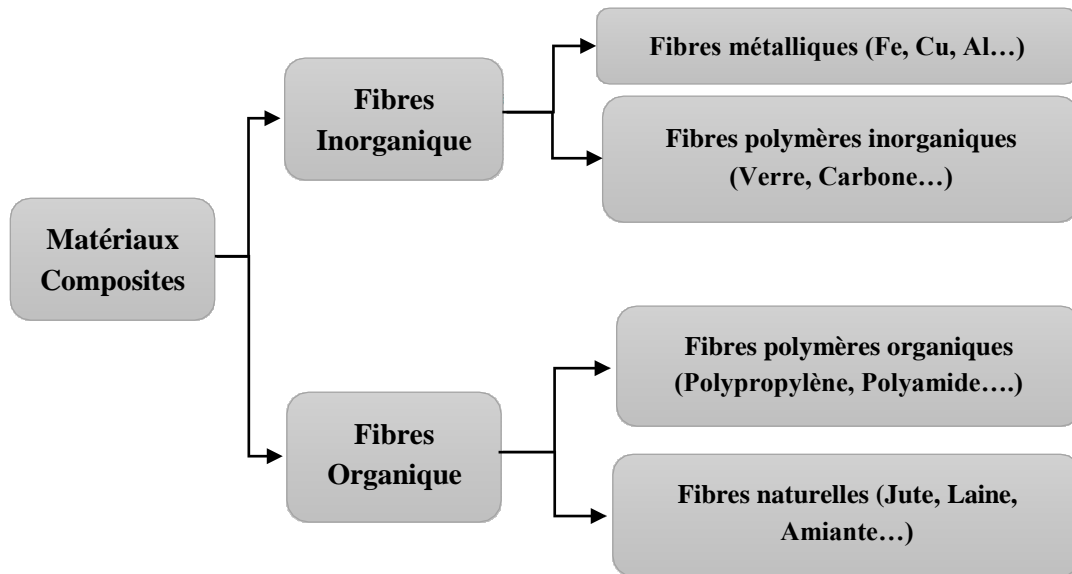


Figure I.3. Classification des composites selon la catégorie de renfort. [5]

### c) Classification selon la forme du renfort

La Figure I.3 présente la classification du composite selon la forme des renforts, que nous pouvons classer en trois familles. Un matériau composite est un composite à fibres si le renfort se trouve sous forme de fibres, soit continués (fibres longues), soit discontinues (coupées, courtes). Il est considéré à particules lorsque le renfort se trouve sous forme de particules, sachant qu'une particule, par opposition aux fibres, ne possède pas de dimension privilégiée [6]. Nous pouvons souligner que la troisième famille "structuraux" de cette classification est le résultat de l'intégration des deux premières familles "renforcés par des particules", "renforcées par des fibres". Ces deux premières familles se différencient à partir de

La valeur du facteur de forme  $L/d$  du renfort où  $L$  et  $d$  sont respectivement la longueur et le diamètre du renfort [6].

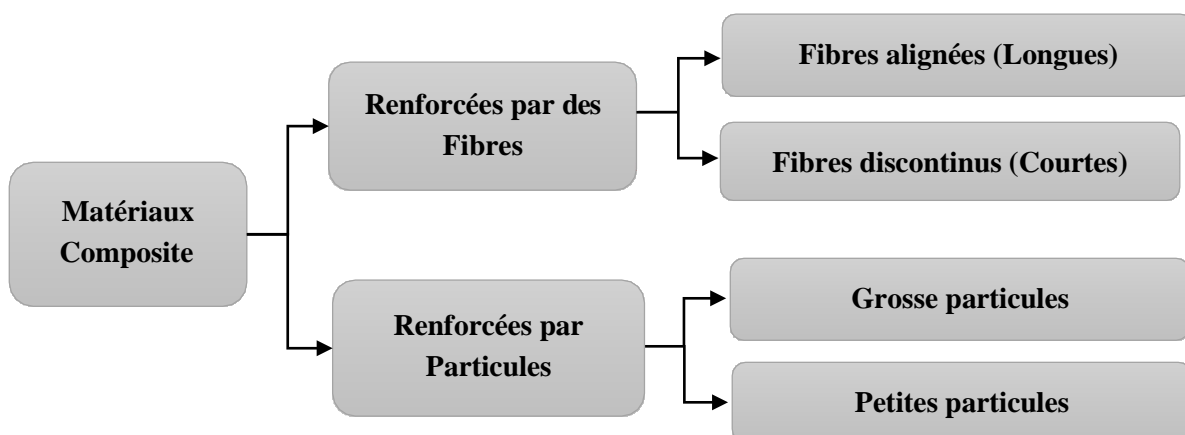


Figure I.4. Classification du composite selon la forme des renforts. [6]

## I.2 Avantages et inconvénients des matériaux composites

### I.2.1 Avantage des matériaux composites

Les composites sont préférés à d'autres matériaux parce qu'ils offrent des atouts liés à :

- Leur légèreté.
- Leur résistance à la corrosion et aussi à la fatigue.
- Leur insensibilité aux produits comme les graisses, les liquides hydrauliques, les peintures et les solvants.
- Leur possibilité de prendre plusieurs formes, d'intégrer des accessoires et permettre la réduction de bruit [7].

### I.2.2 Inconvénients des matériaux composites

Cependant certains inconvénients freinent leur diffusion :

- les coûts des matières premières et des procédés de fabrication.
- la gestion des déchets engendrés et la réglementation de plus en plus stricte.

## I.3 Procédés de fabrication des composites

- **Le moulage par compression à chaud** : Le moulage par compression est un procédé de mise en forme par moulage de pièces en matériaux plastiques ou composites. Ces matériaux peuvent être à base des thermoplastiques.

- **Le moulage au contact** : Le moulage au contact consiste à imprégner manuellement des renforts disposés dans un moule préalablement enduit d'un agent démoulant et recouvert d'une couche de surface appelé gelata [8].

- **Le moulage sous -vide et l'infusion** : Le moulage sous -vide et l'infusion : Les procédés faisant appel au vide sont nombreux.

Celui-ci ayant pour principal avantage de permettre d'appliquer sur une pièce une pression uniforme importante à moindre coût.

Mais il présente aussi certains inconvénients, tels que le choix limité du taux et de la forme de renfort utilisée pour chaque processus. De plus, le moulage sous -vide est difficile à mettre en œuvre avec des moules à plan de joint.

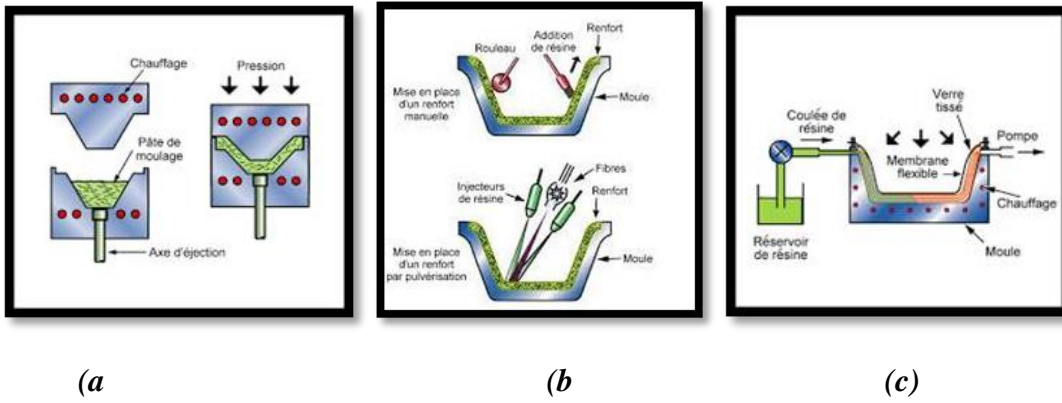


Figure I.5. Quelques procédés de mise en œuvre des composites.

a) moulage par compression) moulage par contact) moulage sous-vide

Les méthodes de mise en œuvre des matériaux composites à matrice thermodurcissables se classent généralement en fonction des séries à réaliser et les dimensions des pièces.

Néanmoins, deux catégories de procédés se réfèrent aux formes des pièces à réaliser ; ce sont les procédés pour la réalisation de corps creux (tubes et citernes) et les procédés en continu qui permettent la réalisation de pièces à section constante (profilés) [8].

Ils sont des procédés manuels ou semi-automatisé. Les méthodes mécaniques de mise en œuvre des matières thermoplastiques renforcées se classent, en deux catégories : l’injection qui est le procédé le plus utilisé, et l’emboutissage ou l’estampage de plaques qui sont des procédés plus récents. Dans ces cas, les mèches imprégnées sont également utilisables directement [8].

Ces procédés peuvent être classés en fonction de la nature de la matrice utilisée, comme le présente la figure I.6.

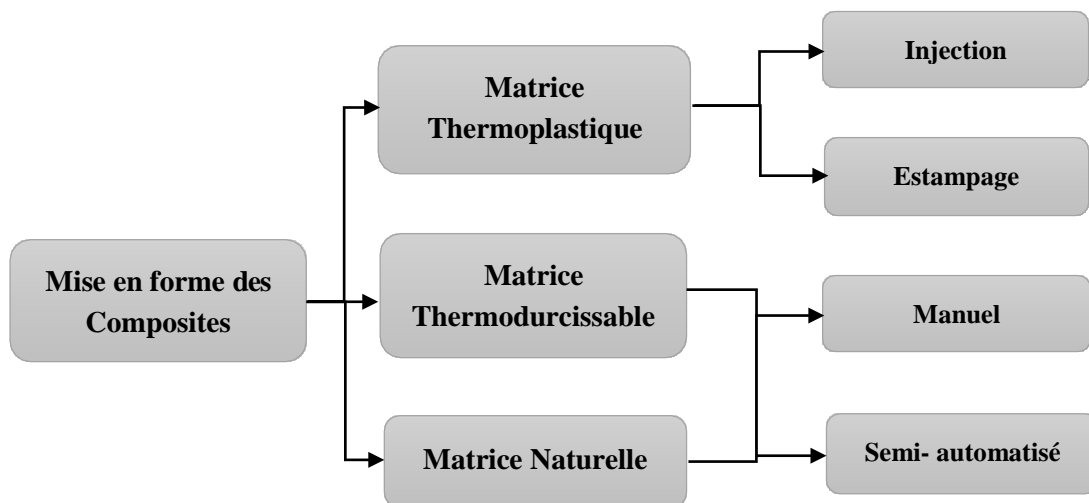


Figure I.6. Mise en œuvre des matériaux composites selon la nature de la matrice. [8]



## I.4 Matériaux végétaux de palmier dattier [9-11].

Le palmier dattier a été dénommé *Phoenix dactylifera* LIN, c'est une plante fruitière pérenne, le plus ancien dans le monde. Il est largement cultivé pour ses fruits alimentaires qui sont commercialisés dans le monde entier.

La Figure I.7 présente les constituants principaux du palme.

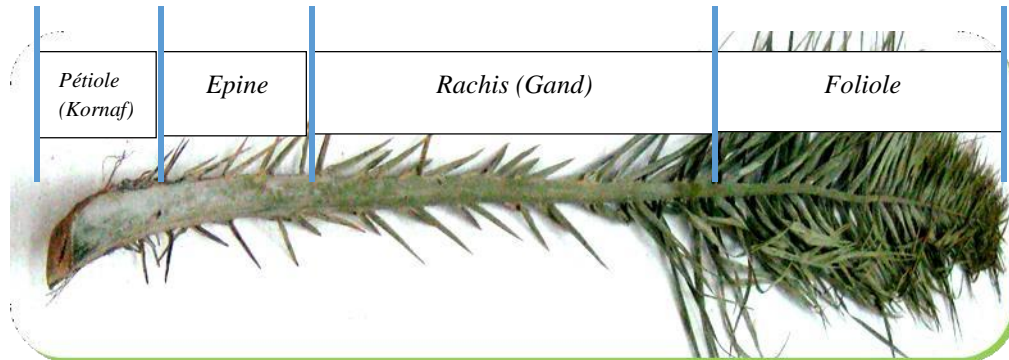


Figure I.7. Différentes parties d'une palme. [12]

### I.4.1 La palme

La palme est une feuille pennée dont les folioles sont régulièrement disposées en position oblique le long du rachis qui s'étend jusqu'au pétiole. La longueur d'une palme peut varier de quelques dizaines de centimètre à plusieurs mètres. [13]



Figure I.8. Déches des palmiers dattiers : palmes sèches.

### I.4.2 Domaines d'utilisation des déchets de palmier dattier

Les palmes entières sont utilisées pour confectionner des clôtures, des toitures, des abris rustiques. Dépouillées des folioles, elles sont utilisées pour fabriquer des meubles rustiques : lits, tables, sièges...

Les rachis refendus servent à la confection de nattes, de corbeilles...Les folioles sont utilisées en vannerie, en sparterie, en corderie...; elles servent notamment à confectionner les paniers si connus sous le nom de couffins et les chapeaux. (Munier, 1973).



*Figure I.9.* Clôture en palmier dans le sable.[14]



*Figure I.10.* Vannerie en feuilles de palme.[15]



*Figure I.11.* Chapeau en feuilles sèche de palme.[16]

# ***Chapitre -II-***

***Elaboration et préparation du  
matériau bio-composite***

Ce chapitre dédié à l'élaboration des matériaux composites s'appuie sur la précédente étude sur les fibres de palme.

L'objectif de ce chapitre est l'élaboration des matériaux composites constitués de renforts issus d'une palme mûre d'un palmier dattier à une même fraction massique, matrice époxyde sont utilisés lors de l'élaboration.

## II.1 Elaborations et préparation des matériaux

Les matériaux utilisés pour préparer les matériaux composites pour cette étude sont des charges végétales en fibres des palmiers dattiers. De plus, une matrice thermodurcissable époxy.

## II.2 Fibres végétale

La fibre utilisée dans cette étude est extraite des palmes mûres d'un palmier dattier type Deglet-Nour de la région de Biskra (Algérie); L'âge du palmier est d'environ 60 ans; la palme est principalement décomposée en deux parties rachis et pétiole, et on a choisi le rachis dans cette étude pour extraire les fibres.

### II.2.1 Extraction des fibres

Cette partie s'intéresse aux fibres broyées obtenues soumises à un tamisage intensif dans une succession de tamis métalliques. Enfin, les fibres choisies de taille sont nettoyées et séchées une seconde fois pour assurer leur propriété. Les fibres de renforts sont obtenues par la technique d'extraction mécanique sur la fibre de rachis selon les quatre étapes suivantes :

#### a/Première étape : Processus de Broyage

Le broyage du rachis ou l'extraction mécanique des fibres passe par deux étapes : premier broyage et second broyage.

Le premier broyage a été réalisé à l'Institut Technique de Développement de l'Agronomie Saharienne (ITDAS) Biskra à l'aide d'un broyeur à lame.

La [Figure II.1](#) montre l'étape de premier broyage.

Les échantillons doivent généralement être soumis pour une analyse mécanique réussie à affinage mécanique, Ce dernier dont le but est d'obtenir des fibres homogènes.



*Figure II.1. Premier protocole du broyage.*

Après cette partie de travail, nous avons obtenu des fibres d'une taille assez grande, par conséquent, nous faisons rebrodons avec cette machine pour garantir les résultats souhaités et assurer le processus de tamisage en douceur.

Le second broyage a été réalisé à l'aide d'un broyeur de type **BOMANN** et de puissance 1800 Watt. Pour obtenir les fibres de la deuxième étape d'extraction mécanique, à chaque fois 150 g de fibres obtenues par le premier broyage sont broyées pendant 60 secondes.

La [Figure II.2](#) montre l'étape de second broyage.



*Figure II.2. Second broyage.*

### **B/Deuxième étape : Processus de tamisage**

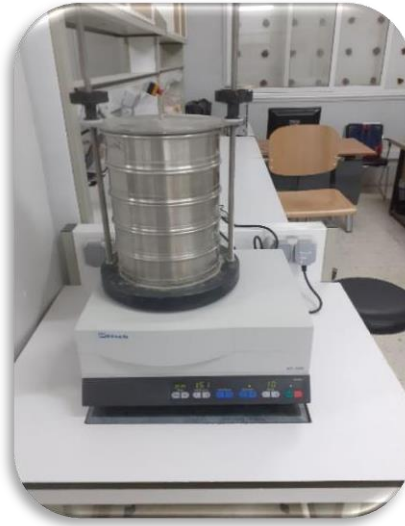
Le tamisage consiste à répartir les grains des fibres en série et de classes dimensionnelles de plus en plus petites par passage à travers des orifices de plus en plus étroits,

En réalité, lorsque les grains ne sont pas sphériques, les orifices les trient selon leur largeur et non selon leur longueur.

Un ensemble de tamis de différents diamètres a été sélectionné pour classer les fibres obtenues par l'extraction mécanique selon leurs différents diamètres. Pour cela, une quantité de 150 g de fibres.

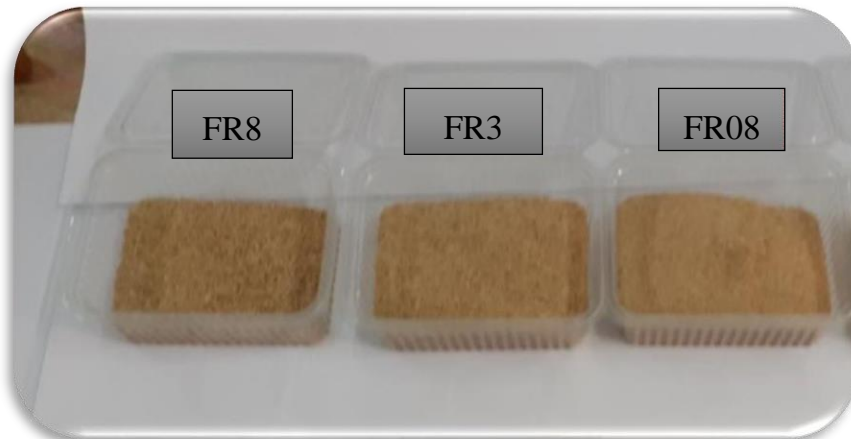
Obtenue par le deuxième broyage a été passée à travers l'ensemble de tamis de diamètres (0.08, 0.315 et 0.8) mm pendant 25 minute.

La [Figure II.3](#) machine de tamisage.



*Figure II.3. Tamiseuse.*

Les fibres obtenues après cette étape ont été classées selon leurs tailles : (FR08, FR3 et FR8).



*Figure II.4. Différentes types des fibres.*

### **C/Troisième étape : Processus de Nettoyage**

Pour s'assurer que les fibres obtenues de différentes tailles sont nettoyées sans les perdre. Nous avons utilisé des filtres en tissu ultrafins avec un épurateur avec de l'eau distillée chaude à 80°C ([Figure.II.5](#))

Sans endommager la fibre et obtenir des résultats fiable, il est recommandé de bien nettoyer lors du passage a une taille de fibre différente, Pour éviter les restes de la taille précédente.



*Figure II.5. Processus du nettoyage des fibres.*

Et la petite taille, nous l'avons lavée en la pressant dans un a trous fins pour éviter de perdre des fibres à travers de grandes orifices lors de la phase de lavage précédente, comme le montre la figure.



*Figure II.6. Nettoyage des fibres.*

#### **d/ Quatrième étape : Processus de Séchage :**

Le séchage des fibres après nettoyage est une étape très importante pour assurer une bonne interface entre les fibres et la matrice selon les études menées. Nous avons utilisé une étuve type **DIN EN 61010-1** à une température de séchage de 110 °C.

Le temps de séchage est généralement d'environ 3 et 4 Heures .Si vous n'avez pas d'objective à ce que le séchage se fasse plus lentement, Cette méthode est intéressante.

La [figure II.7](#) montre le séchage des fibres.



*Figure II.7. étuve (DIN EN 61010-1(07.2011)).*

### II.3 Plaques en bio-composite

La matrice utilisée pour la préparation des matériaux bio-composites c'est l'époxy.

#### II.3.1 Fibres des rachis :

Les matériaux composites sont réalisés pour valeurs de fraction massique constante, on détermine la masse des fibres nécessaires par la relation suivante :

$$W_f = \frac{m_f}{(m_f + m_m)}$$

$W_f$  : fraction massique de la fibre.

$m_m$  : la masse de la matrice.

$m_f$ : la masse de la fibre.

Ainsi que la masse de fibres de chaque type estime à 4.75 grammes.



*Figure II.8 Fibres en séchage.*



### II.3.2 Matrice :

La matrice thermodurcissable est une résine époxy à deux composants, semi- rigide non chargée. Sa densité est de 1.03 g/cm<sup>3</sup>.



*FigureII.9. Résine époxy.*

Avant d'utiliser l'époxy, les composants doivent être mélangés manuellement pendant au moins trois minutes jusqu'à ce que leur couleur change comme indiqué à la Figure II.10.



*FigureII.10. Résine époxy après leur mélange.*

### II.3.3 Bio-composite :

Pour préparer les matériaux composites à partir des fibres de palmier et d'époxy, nous avons utilisé des moules en plastique démontables aux dimensions suivantes (180x160x4) mm<sup>3</sup>. Le processus de moulage était manuel. Nous utilisons la même fraction massique de fibres 4 % avec différentes tailles de fibres 0.08, 0.315 et 0.8 mm

La Figure II.11 présente modèle des moules utilisés.



*Figure II.11. Modèle des moules.*



*Figure II.12. Protocole de préparation des plaques en bio-composite*

Avant démoulage, les plaques obtenues en bio-composite ont été séchées dans une étuve à 12°C pendant 5 min.



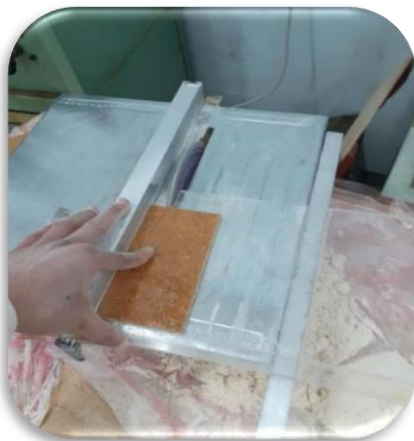
*Figure II.13. Plaque démoulée.*

## II.4 Présentation des matériaux

### II.4.1 Préparation des éprouvettes de bio-composite

Les éprouvettes des bio-composites utilisés pour l'essai de flexion trois points (F3P) selon la norme **NF en ISO 178** ont été découpé par une tronçonneuse. Les dimensions des éprouvettes sont : (160x20x4) mm<sup>3</sup>.

La **Figure II.14** et la **Figure II.15** présente les procédures de découpage et les éprouvettes pour les essais mécaniques.



*Figure II.14. Découpage des éprouvettes. Figure II.15. Spécimens des éprouvettes en composite pour l'essai de flexion trois points [F3P].*

***Chapitre -III-***  
***Caractérisation physico-***  
***mécanique des matériaux bio-***  
***composites***

Dans cette partie de l'étude, nous avons effectué la caractérisation physique des fibres telles que la teneur en humidité après séchage des fibres, ainsi que la caractérisation mécanique des matériaux composites avec différentes tailles des fibres de palmier dattier de fraction massique constante. La caractérisation mécanique se fait au moyen d'un essai de flexion trois points.

### III.1 Caractérisations physico-mécanique

#### III.1.1 Propriété physique des fibres

##### III.1.1.1 Taux d'humidité de différentes tailles des fibres rachis

La teneur en eau des fibres est déterminée par la méthode gravimétrique. Les échantillons propres et humides des fibres de masse initiale ( $M_h$ ) sont placés dans une étuve à une température  $T=110^\circ\text{C}$ .

Les échantillons sont pesés toutes les 30 minutes avec une balance électronique type (**Kern V3.1**) d'une précision de 0,001 jusqu'à ce que la masse de l'échantillon soit stable ( $M_s$ ) (**Fig. III.1**).

Le taux d'humidité  $H$  est déterminé à partir de la formule suivante :

$$H\% = \frac{(M_h - M_s)}{M_h} \times 100$$

$H\%$ : Pourcentage d'eau dans les fibres de la palme (Taux d'humidité)

$M_h$  : masse d'échantillon avant séchage.

$M_s$  : masse d'échantillon après séchage.



(a)

(b)

**Figure III.1.** Appareil de mesure :

(a) étuve électrique (**DIN EN 61010-1**), (b) balance électrique (**Kern.v3.1**)

#### III.1.2 Propriété mécanique de bio-composite

Pour déterminer les caractéristiques mécaniques des fibres, des essais de flexion trois points ont été réalisés à l'aide d'une machine universelle de type TEST (**D-40699**) par un ordinateur le logiciel Bluehill3.

(Figure III.2); les cellules utilisées ont une capacité maximale 5KN pour l'essai sur le matériau composite.



Figure III.2. Machine universelle de type TEST (D-40699).

### III.1.2.1 Essai de flexion trois points du composite

Le test de flexion statique suivant la norme **NF en ISO 178**. la vitesse de l'essai est de 5mm/min (Figure III.3).

En exploitant les courbes force – flèche obtenues par les essais de flexion trois points. On peut déterminer le module d'élasticité en flexion  $E_f$  suivant la norme **NFT 51 001**.

La contrainte  $\sigma$  est déterminée respectivement selon la formule (III.1) et (III.2).

$$E_f = \frac{F}{S} \times \frac{L^3}{(4 \cdot b \cdot h^2)} \quad (\text{III.1})$$

$$\sigma = \frac{3 \cdot F \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad (\text{III.2})$$

L : Distance entre les appuis (mm).

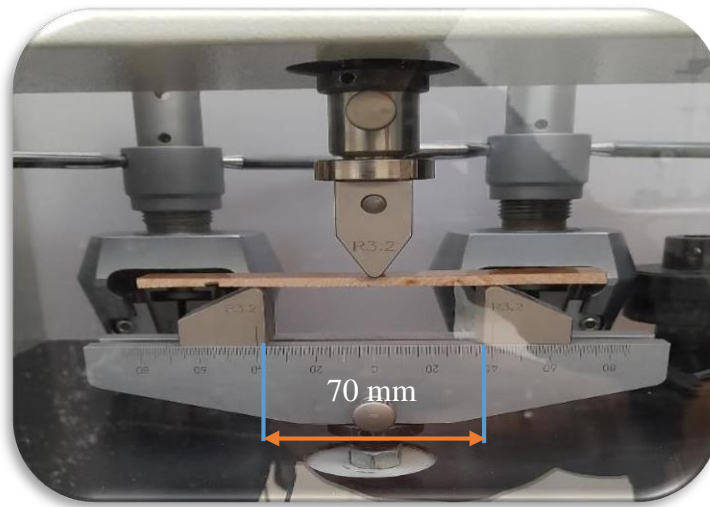
S : Flèche (mm).

b : Epaisseur de l'éprouvette (mm).  
(mm).

h : Largeur de l'éprouvette

F : Charge pour un choisi sur la tangente à l'origine (N).

La Figure III.3 : Présente l'essai mécanique sur l'éprouvette en bio-composite.



*Figure III.3. Essai de flexion trois points.*

## III.2 Résultats et discussions

### III.2.1 Propriété physique des fibres

#### III.2.1.1 Taux d'humidité de différentes tailles des fibres

Les résultats obtenus par des mesures de masse et d'humidité après séchage de différentes tailles de fibres à 110°C toutes les 30 minutes sont présentés dans le [tableau III.1](#).

Quant a [Tableau III.2](#) Variation de taux d'humidité.

Temps [min]	La masse en [g]			H d'humidité [%]		
	FR08	FR3	FR8	FR08	FR3	FR8
<b>Solide humidité</b>	16,563	48,638	30,462	75,288	79,826	76,268
30	8,133	34,383	16,571	49,674	71,462	56,375
60	4,163	21,88	9,157	1,681	55,155	21,054
90	4,093	14,5	7,31	0	32,331	1,108
120	4,093	10,195	7,246	0	3,756	0,234
150	4,093	9,812	7,229	0	0	0
180	4,093	9,812	7,229	0	0	0

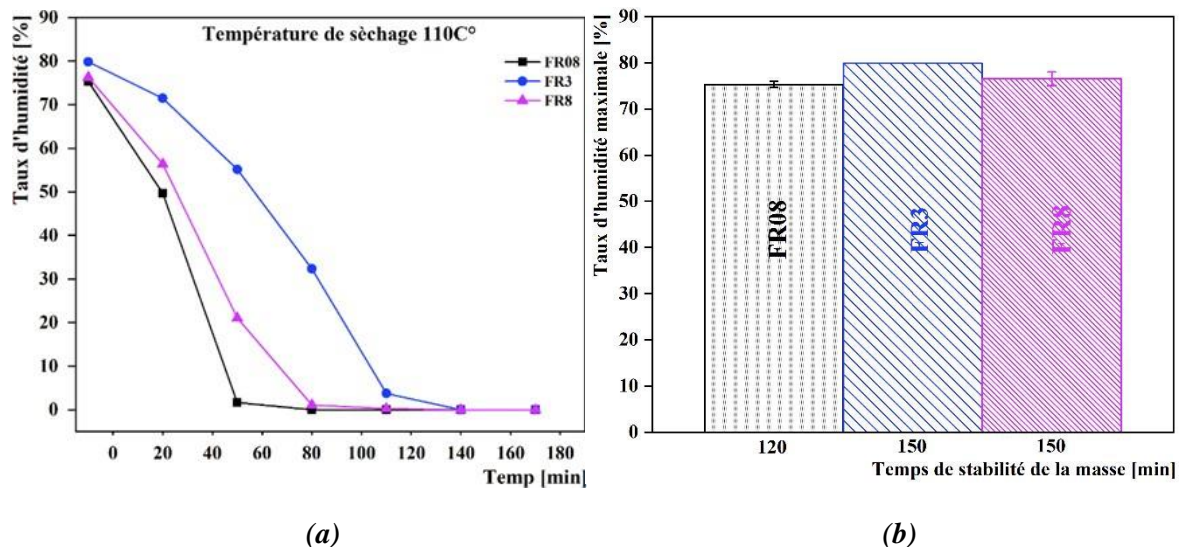
*Tableau III.1: Présente l'évolution de la masse à différents tailles des fibres pendant le séchage à une température de 110 °C pour chaque 30 min.*

	FR08	FR3	FR8
Echantillon 1	76,308	132,678	78,941
Echantillon 2	75,094	79,930	76,528
Echantillon 3	75,288	79,826	76,268
Moyenne	75,288	79,878	76,528
err	0,652	0,073	1,473

**Tableau III.2.** Variation de taux d'humidité à séchage  $T=110^{\circ}\text{C}$ .

Selon le [Tableau III.1](#) et [Tableau III.2](#) a tracer la [Figure III.4](#). Présente la variation de taux d'humidité en fonction de temps a une température de séchage  $110^{\circ}\text{C}$  des différentes tailles des fibres.

La [Figure.III.4.a](#) présente la variation de taux d'humidité en fonction du temps pour différentes tailles de fibre à une température de séchage de  $100^{\circ}\text{C}$ , Le taux d'humidité maximale est déterminé après la stabilisation de la quantité d'eau perdue, et les valeurs maximales pour chaque taille de fibre sont indiquées à la [Figure III.4.b](#).



**Figure III.4.** Variation de taux d'humidité en fonction de temps a une température de séchage  $110^{\circ}\text{C}$  des différentes tailles des fibres.

(a) variation taux d'humidité de fibres, (b) valeurs des taux d'humidité maximale.

Nous remarquons que les courbes de la variation de taux d'humidité [%] en fonction de temps [min], a une température de séchage  $110^{\circ}\text{C}$  des différent tailles des fibres des rachis ;

Ensuite on observe que les paramètres diminuent pour toutes les tailles en même allure avec le temps. On observe les grandeurs mesurées avec la suite,



La taille de fibre de 0,315 mm (FR3) représente la valeur maximale du taux d'humidité de 79.826 %, ce qui prend entre [110-140] minutes de temps de séchage pour se stabiliser sur cette valeur

On note également qu'une taille de fibres de 0,8 mm (FR8) nécessite une durée plus longue de [80 à 110] minutes pour stabiliser les valeurs d'humidité à 76.268 %. La taille de fibre de 0,08 mm (FR08) prend le temps de séchage le plus long entre [60 et 110] minutes et présente la valeur de taux d'humidité le plus bas de 77.222%. En fin ; Le temps stabilité des fibres diminue avec l'augmentation de la taille.

### III.2.2 Propriété mécanique de composite

#### III.2.2.1 Essai de flexion trois points

Les résultats obtenus à partir des essais de flexion trois points sur les éprouvettes sont représentés sur les graphes charge – déplacement, de la [Figure III.5](#), (a), le [Tableau III.3](#). Présente les caractéristiques mécaniques déduites de cet essai.

Les propriétés mécaniques calculées dans le domaine élastique des matériaux composites à une même fraction massique estime que (4%) des différentes tailles des fibres (0.08, 0.315 et 0.8) mm sont présentées dans le [tableau III.3](#).

[Tableau III.4](#). Résultats de l'essai de flexion trois points des éprouvettes (FR).

Tailles (mm)	F max (N)	S max (mm)	Ef moyenne (MPa)	σ max (MPa)
FR08	86,192 ± 3	11,350 ± 3	941,742 ± 94,104	29,511 ± 2,156
FR3	69,823 ± 3	5,750 ± 3	950,460 ± 159,085	23,319 ± 4,674
FR8	51,186 ± 3	4,216 ± 3	1245,143 ± 266,714	21,340 ± 5,821

[Tableau III.3](#). Résultats de l'essai de flexion trois points des éprouvettes à différentes tailles des fibres.

FR08		FR3		FR8	
F moyenne	S moyenne	F moyenne	S moyenne	F moyenne	S moyenne
91,460	11,133	88,978	7,216	47,653	4,050
77,501	11,758	49,647	5,669	76,547	7,475
85,310	11,158	72,882	5,750	51,186	3,566
93,725	11,350	69,823	6,133	49,266	5,383
86,192	11,583	69,027	4,450	71,407	4,216
86,192	11,350	69,823	5,750	51,186	4,216
3	3	3	3	3	3

[Tableau III.4](#). Résultats de l'essai de flexion trois points des éprouvettes (FR).

La Figure III.6 : Présente la variation du module d'élasticité et la contrainte maximale de flexion du composite.

A partir des résultats obtenus. On remarque que le module de l'élasticité et la contrainte sont différentes dans les différentes tailles de fibres de la palme. Le module d'élasticité augmente jusqu'à **1245.143 MPa**. Pour la taille des fibres rachis **0.8 (FR8)** de la palme.

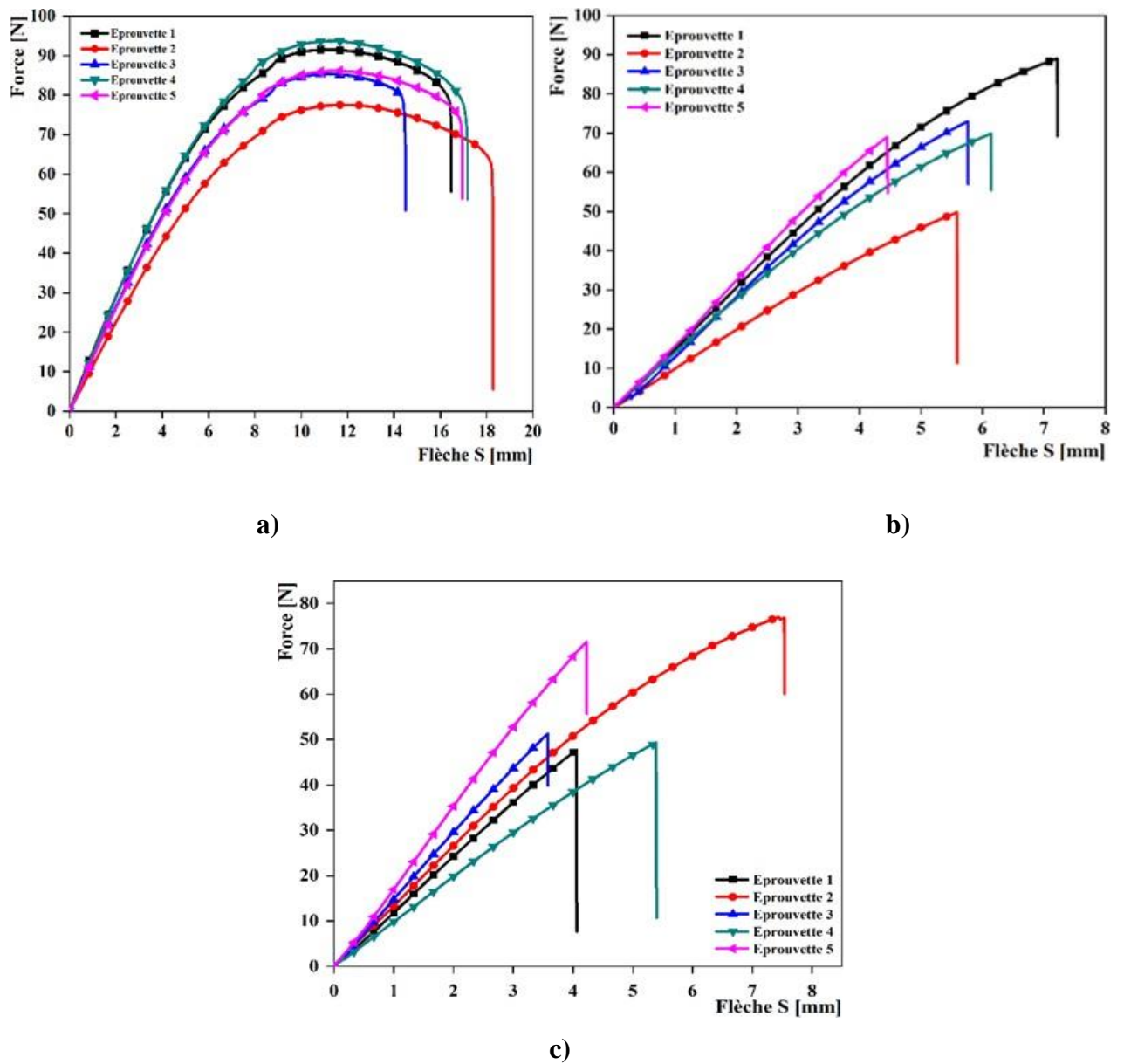
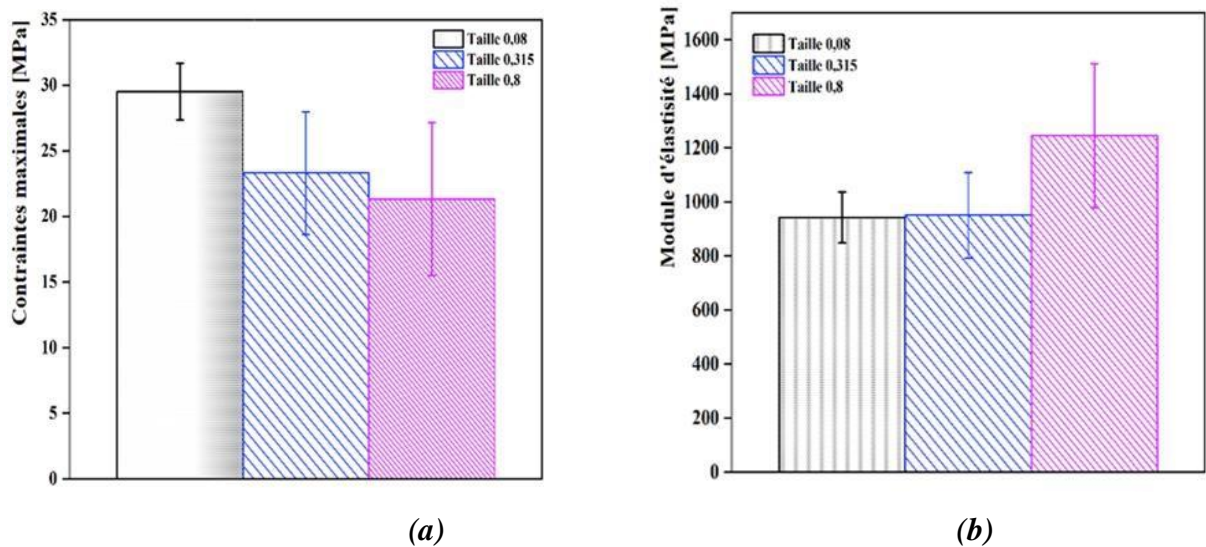


Figure III.5. Résultats de l'essai de flexion trois points (F3P) : courbe type charge-déplacement,

a) Taille 0.08, b) Taille 0.315, c) Taille 0.8

La Figure III.6 Présente la variation du module d'élasticité et la contrainte maximale obtenues par l'essai de flexion sur les éprouvettes des composites à différentes tailles des fibres, montre l'évolution de module d'élasticité et la contrainte maximale en fonction des différentes tailles des fibres. Les valeurs de module d'élasticité augmentent jusqu'à la taille de fibre **0.8 mm** puis diminuent à taille de fibre **0.08 mm**, D'autre part, les valeurs de la contrainte maximale des composites diminuent avec l'augmentation de taux des fibres.

On remarque que le module d'élasticité et la contrainte sont différents pour les différentes tailles des fibres. Le module d'élasticité augmente jusqu'à plus que **1200 MPa** à la taille des fibres 0.8 mm ; D'autre part, il convient de noter que la valeur de la contrainte maximale très élevée de la taille des fibres **0.08 mm** est de **29,511 MPa** par rapport à les tailles des fibres **0.315** et **0.8 mm** qui sont respectivement de **23.319 MPa** et **21.340 MPa**.



**Figure III.6.** Résultats de l'essai de flexion trois points pour les différentes tailles des fibres de la palme : (a) contrainte maximale, (b) module d'élasticité.

Nous pouvons conclure d'après les résultats mécaniques obtenus que le matériau avec une taille des fibres **0.8 mm** est le matériau le plus souple car il a une faible flexion correspondant à une charge plus élevée par rapport aux composites avec une taille des fibres **0.08** et **0.315 mm**.

***Conclusion  
générale***

## Conclusion générale

Chaque année, les palmiers dattiers au cours de leur croissance produisent d'énormes quantités de palmiers sèches sous forme de déchets souvent abandonnés et sous-utilisés.

Ce travail constitue une contribution à l'étude de la faisabilité d'exploiter ces ressources naturelles dans l'industrie des bio-composites à base de fibres issus d'une palme mûre de palmier dattier.

Cette étude est une caractérisation physique des fibres de palmier dattier de différentes tailles. En plus de la caractérisation mécanique des bio-composites avec différentes tailles de ces fibres, le comportement mécanique de ces composites a été étudié par l'essai de flexion trois points.

Les résultats obtenus à travers de ce travail de la caractérisation mécanique après le test de flexion trois points sur les matériaux composites proposées sont intéressantes par rapport les propriétés mécaniques de la matrice vierge ( $E=0.9$  GPa et  $\sigma=16.73$  MPa).

Ces résultats montrent que les propriétés mécaniques des matériaux composites sont influé par la taille des fibres utilisées, car plus la taille des fibres est grande, plus les valeurs des module d'élasticité augmentes, par contre la contrainte maximale diminué avec l'augmentation de la taille des fibres

Une taille de fibre 0.8mm donne la valeur le plus élevée du module d'élasticité du composite et cette valeur est réduite pour une taille des fibres inférieure a 0.8mm.

**-Références Bibliographiques-**

- [1] R. Kueny, "Bio composites : composites de hautes technologies en renfort de fibres naturelles et matrice de résines naturelles," thèse de doctorat, Université de Lorraine, France, 2013.
- [2] S. M. Lee, *Dictionary of composite materials technology*: CRC Press, 1995.
- [3] Berthelot J.M., *Matériaux composites - Comportement mécanique et analyse des structures*, Ed. Tec & Doc, Lavoisier, Paris, 2005.
- [4] L. Gendre, "Les grandes familles de matériaux composites," *ENS CACHAN, Université de PARIS-SACLAY.France*, 2011.
- [5] S. Swier, G. Van Assche, and B. Van Mele, "Reaction kinetics modelling and thermal properties of epoxy– amines as measured by modulated-temperature DSC. I. Linear step-growth polymerization of DGEBA+ aniline," *Journal of Applied Polymer Science*, vol.91, pp. 2798-2813, 2004.
- [6] J. M. Berthelot, *Matériaux composites : Comportement mécanique et analyse des structures.* , 5e édition Tec & Doc, Paris, France. ed, 2012.
- [7] [3] Stephen W. Tsai – Introduction to Composite Materials. A T economic Publishing Company book Includes index p.453. Congres Card n° 80-51965 Lancaster, Pennsylvania17604 U.S.A 1980.
- [6] C. Bailey, Y. Grohens, and I. Palin, "State-of-the-art of biodegradable composite materials," *Revue des Composites et des Matériaux Avances*, vol. 14, pp. 135-166, 2004.
- [8] F. Berbain, A. Chevalier, and C. Choudin, "Mise en œuvre des composites: Méthodes et matériels," *Techniques de l'ingénieur. Plastiques et composites*, pp. A3720. 1-A3720. 34, 1997.
- [9] P. Munier, "Le palmier-dattier," *Techniques agricoles et productions tropicales*, vol. 24, pp. 221, 1973.
- [10] J. M. Harris and B. Meylan, "The influence of microfibril angle on longitudinal and tangential shrinkage in *Pinus radiata*," *Holzforchung-International Journal of the Biology, Chemistry, Physics and Technology of Wood*, vol. 19, pp. 144-153, 1965.
- [11] P. Munier, "Le problème de l'origine du palmier-dattier et l'Atlantide," *Fruits*, vol. 29, pp. 235-240, 1974.
- [12] T. Djoudi, M. Hecini, D. Scida, Y. Djebbloun, and B. Guerira, "Caractérisation physique et mécanique du bois et des fibres issus d'une palme mûre de palmier dattier," *Matériaux & Techniques*, vol. 106, pp. 403, 2018.
- [13] P. Munier, "Le palmier-dattier," *Techniques agricoles et productions tropicales*, vol. 24, pp. 221, 1973.

**-Références électroniques-**

- [14] [https://fr.freepik.com/photos-premium/cloture-feuilles-palmier-dans-sable\\_16814679.htm](https://fr.freepik.com/photos-premium/cloture-feuilles-palmier-dans-sable_16814679.htm) 07/06/2022 17:20
- [15] <https://marceletmaurice.fr> 09/06/2022 18:00
- [16] <https://en.flowrette.com> 09/06/2022 19:00

---

## **Résumé**

*Ce travail comporte une étude expérimentale qui consiste en une caractérisation mécanique du matériau bio-composite,*

*L'étude a été commencée par la caractérisation physique d'une composante importante du bio-composite qui est les fibres de la palme.*

*La caractérisation mécanique des matériaux composites à base de ces fibres a été effectuée pour type de matrices (Epoxyde). L'essai de flexion effectué pour des composites à différents tailles de fibres (0.08, 0.315, et 0.8mm).*

*À l'issue de cette étude, les résultats obtenus montrent l'influence de la géométrie (la tailles des fibres) de l'échantillon testé sur les propriétés mécaniques des composites.*



يتضمن هذا العمل دراسة تجريبية تتكون من توصيف ميكانيكي للمادة المركبة الحيوية،

بدأت الدراسة بالتوصيف الفيزيائي لعنصر مهم من المركب الحيوي، وهو ألياف النخيل

تم إجراء التوصيف الميكانيكي للمواد المركبة بناءً على هذه الألياف لنوع المصفوفة (الإيبوكسيد). تم إجراء اختبار الانحناء للمركبات ذات الأحجام المختلفة للألياف (0.08 و 0.315 و 0.8 مم)

في نهاية هذه الدراسة، أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها تأثير الهندسة (حجم الألياف) للعينة المختبرة على الخواص الميكانيكية للمركبات

---

## ***Abstract***

*This work includes an experimental study, which consists of a mechanical characterization of the bio-composite material,*

*The study was started by the physical characterization of an important component of the bio-composite that makes up the palm fibres.*

*The mechanical characterization of composite materials based on these fibres was carried out for type of matrices (Epoxy). Bending tests carried out for composites with different fibres sizes (0.08, 0.315, and 0.8mm).*

*At the end of this study, the results obtained show the influence of the geometry (the sizes of the fibres) of the tested sample on the mechanical properties of the composites.*