



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. : .....

---

Présenté et soutenu par :  
**LAMISE OUMKELTHOUM GHACHA**

**CHAIMA ELLEK**

Le : lundi 27 juin 2022

## **Impact de la composition d'un matériau composite à base de fibres naturelles sur les caractéristiques mécaniques**

---

### **Jury :**

Dr.	NOUREDDIN DRIAS	<b>MCB</b>	Université de Biskra	Président
Dr.	TAREK DJOUDI	<b>MCA</b>	Université de Biskra	Rapporteur
Dr.	HECIN DJEMAI	<b>MCB</b>	Université de Biskra	Examineur

Année universitaire : 2021 - 2022

## الإهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿قُلْ أَعْمَلُوا بِسْمِ اللَّهِ الَّذِي هُوَ عَمَلُكُمْ وَرَسُولُهُ وَالْمُؤْمِنُونَ﴾

صدق الله العظيم

إلهي لا تطيب لي الليل إلا بشكرك ولا تطيب لي النهار إلا بطاعتك.. ولا تطيب لي اللحظات إلا بذكرك.. ولا تطيب لي الآخرة إلا بعفوك..  
ولا تطيب لي الجنة إلا برويتك  
والدي العزيز.....

إلي من كلله الله بالصيبة والوقار.. إلي من علمني العطاء بدون انتظار.. إلي من أحمل أسمه بكل افتخار.. أرجو من الله أن  
يمد يدي عمرك لتري ثماراً قد حان قطافها بعد طول انتظار وستبقي كلماتك نجوم أهدني بها اليوم وفي الغد وإلى الأبد..

إلى شخصي المفضل دائماً وابدأ

أمي الحبيبة.....

إلى ملاكي في الحياة و جنتي في الدنيا إلي معنى الحب وإلى معنى العنان والتفاني.. إلي بسمه الحياة وسر الوجود إلي  
من كان دائماً سر نجاحي وحنانها بلمس جراحي

أخواتي.....

إلى من كن كنفها عند الانهيار و سندا عند التعب دمتن لي ضلعا ثابتا لا يميل.

أخوتي.....

إلى أخوتي ورفقاء دربي و سنديو عزوتي بعد ابيالي نعيم الدنيا و امانها في نهاية مشواري أريد أن أشكركما على  
مواقفكما النبيلة إلي من تطلعتما لنجاحي بنظرات الأمل

عزيتي.....

إلى من أنستني في دراستي وشاركتني هموميتذكاراً وتقديراً: لميس

صديقاتي.....

ممتنة للحياة و الأيام حين جعلت منكن صديقاتي و رفيقات لحظاتي الحلوة و المرة عن الفء معني عن الفء رفيق أنتن

شياء

## الإهداء

إذا كان الإهداء يعبر ولو بجزء من الوفاء فالإهداء إلى معلم البشرية ومنبع العلم نبينا محمد صلى الله عليه وسلم

إلى ... كل من علمني حرفا في هذه الدنيا الفانية

إلى ... مثل الأبوّة الأعلى... أبي وطلعي و قلبي و موطني

إلى ... حبيبة قلبي الأولى... أمي الحنون و أهل الحياة

إلى ... مؤنستيأختي سندس ... جنتي في الدنيا و وحدتي

إلى ... الحبيب كل الحبيب... إخوتي " يعقوب إسحاق إلياس زكرياء أحمد " سندي و عزوتي

إلى ... من أنستني في دراستي وشاركتني هموميتذكاراً وتقديراً :هيماء

إلى ... كل صديق عزيز قريب أو بعيد ... و إلى كافة الأهل والأحبة

إلى ... من مهدوا الطريق أمامي للوصول إلى ذروة العلم اهدي هذا الجهد المتواضع

لهيس

## شكر و تقدير

نشكر الله عز وجل الذي بتوفيق منه و بفضل منه تمكنا من انجاز هذه المذكرة

نتقدم بجزيل الشكر للأستاذ المشرف طارق جودي على كل التوجيهات و الملاحظات فجزاه الله عنا كل خير و له منا كل التقدير والاحترام

وكذلك نشكر كل من ساعد على إتمام هذا البحث وقدم لنا العون ومد لنا يد المساعدة لإتمام هذا البحث ونخص بالذكر:

الأستاذ: **هالة اسماعيل**

الذين كانوا عوننا لنا في بحثنا هذا ونورا يضيء الظلمة التي كانت تقف أمامنا في طريقنا.

إلى من زرعوها التفاؤل في دربنا وقدموا لنا المساعدات والتسهيلات والأفكار والمعلومات، ربما دون يشعروا بدورهم بذلك فلهم منا كل الشكر، وأخص منهم:

الزميل: **سمائل اسامة**



---

## ملخص

تركز في الدراسة على عنصر رئيسي من نخيل التمر هو السعوف الجاف الذي ينقسم إلى قسمين القاعدة و الساق يتم

التوصيف الفيزيائي المستخرجة من سويقات النخيل

من جهة أخرى تمتحضير مواد مركبة من مصفوفة حرارية و ألياف النخيل كما تمنا بإجراء التوصيف الميكانيكي لمثلها المواد

المركبة القائمة على هذه الألياف بنسب كتلية مختلفة ( 4% , 10% , 16%) مصفوفة (الايوكسيد). تكشف اختبارات

الانحناء التي أجريت على هذه المواد المركبة إن هناك تباين في الخصائص الميكانيكية حسب نسبة الألياف المتواجدة

بالمركب.

---

## *Résumé*

Cette étude comprend des recherches approfondies sur la description physique et mécanique de ces déchets bruts (frondes sèches) et la fabrication de divers types de matériaux composites renforcés par des fibres extraites de ces matériaux végétaux.

D'autre part, la caractérisation mécanique des matériaux composites à partir de ces fibres a été effectuée à l'aide d'une matrice époxyde. Les essais de flexion des matériaux composites révèlent des pourcentages différents (4%, 10%, 16%). Les résultats montrent qu'il existe un écart dans les propriétés mécaniques.

---

## *Abstract*

This study includes extensive research on the physical and mechanical description of these raw wastes (dry fronds) and the manufacture of various types of composite materials reinforced by fibers extracted from these plant materials.

On the other hand, the mechanical characterisation of composite materials from these fibers was carried out using an epoxy matrix. Bending tests of composite materials reveal different percentages (4%, 10%, and 16%). Results show that there is a gap in mechanical properties.

# SOMMAIRE

	<i>page</i>
اهداء	I
اهداء	II
شكر وتقدير	III
ملخص	□
Résumé	□
Abstract	□
Sommaire	□
Liste des figures	IX
Liste des tableaux	XI
Introduction	1

## CHAPITER I :

### *Généralité sur les matériaux composites*

<b>I.1 Définition et classification des composites</b>	<b>3</b>
<b>I.1.1</b> Classification selon le type de matrice	4
<b>I.1.2</b> Classification selon la catégorie du renfort	4
<b>I.1.3</b> Classification selon la forme du renfort	5
<b>I.2 Matériaux composites bio sources</b>	<b>5</b>
<b>I.2.1</b> Renforts à fibres végétales	5
<b>I.2.1.1</b> Méthodes d'extraction des fibres végétales	7
<b>I.2.2</b> Matrices	7
<b>I.2.2.1</b> Matrices polymers	8
<b>I.2.2.2</b> Matrices naturelles	9

<b>I.3</b>	<b>Procédés de fabrication des composites</b>	9
<b>I.4</b>	<b>palmierdattier</b>	11
<b>I.4.1</b>	<b>La Palme</b>	12

## ***CHAPITER II :***

### ***Élaboration et préparation des matériaux composites***

<b>II.1</b>	<b>Présentation et élaborations des matériaux</b>	15
<b>II.1.1</b>	<b>Fibres</b>	15
<b>II.1.2</b>	<b>Matrice</b>	19
<b>II.2</b>	<b>Composite (Epoxy/Fibre de rachis)</b>	19

## ***CHAPITER III :***

### ***Caractérisation physique et mécanique des matériaux composites***

<b>III.1</b>	<b>Propriété physique des fibres</b>	22
<b>III.2</b>	<b>Propriétés mécaniques de composite</b>	23
<b>III.3</b>	<b>Résultats et discussion</b>	24
<b>III.3.1</b>	<b>Propriété physique de fibre</b>	24
<b>III.3.2</b>	<b>Propriétés mécaniques de composite</b>	27
<b>Conclusion</b>		31
<b>Références</b>		32

## *Listes des figures*

### *Chapitre I : Généralités*

*page*

<b>Figure I.1.</b> Matériaux composites à particules, à fibres et stratifiés.	3
<b>Figure I.1.1.</b> Classification des composites selon la matrice	4
<b>Figure I.1.2.</b> Classification des composites selon la catégorie du renfort	4
<b>Figure I.1.3.</b> Classification des composites selon la forme des renforts	5
<b>Figure I.2.1.a.</b> Classification des fibres naturelles selon l'origine	6
<b>Figure I.2.1.b.</b> Classification des fibres végétales selon l'origine	6
<b>Figure I.2.1.1.</b> Différentes techniques d'extraction des fibres végétales	7
<b>Figure I.2.2.</b> Matrice utilisée pour les matériaux composites bio-sourcé	8
<b>Figure I.2.2.1.</b> Structures moléculaires des polymères : a) polymèrthermoplastique, b) polymèrthermodurcissable	9
<b>Figure I.3.1.</b> Mise en œuvre des matériaux composites selon la nature de la matrice	9
<b>Figure I.3.2.</b> Quelques procédés de mise en œuvre des composites	11
<b>Figure I.4.</b> Différentes parties d'un palmier dattier et l'évolution naturelle d'une palme	12
<b>Figure I.4.1.</b> Différentes parties d'une palme mûre	13

### *Chapitre II : Élaboration et préparation des matériaux composites*

<b>Figure II.1.</b> Déchets des palmiers dattiers .a) Palmes, b) Rachis	15
<b>Figure II.2.</b> Découpe de rachis	16
<b>FigureII.3.</b> Premier broyage	16
<b>Figure II.4.</b> Second broyage	17

<b>Figure II.5.</b> Machine de tamisage	17
<b>Figure II.6.</b> Processus de nettoyage des fibres (1)	18
<b>Figure II.7.</b> Séchage des fibres à étuve électrique <i>DIN EN 61010-1(07.2011)</i>	18
<b>FigureII.8.</b> Époxy Résine	19
<b>Figure II.9.</b> Protocole de préparation des plaques : époxyde/fibre de la palme	20

### ***ChapiterIII: Caractérisation physique et mécanique des matériaux composites***

<b>Figure III.1.</b> Appareil de mesure a ) étuve électrique, b) balance électronique <i>Kern V3.1</i>	22
<b>Figure III.2.</b> Éprouvettes d'essais flexion trois points	23
<b>Figure III.3.</b> Machine universelle de type <i>TesT.GmbH.112.5KN.2017</i>	23
<b>Figure III.4.</b> Essai mécanique a) Essai flexion trois points .b)éprouvettes après l'essai	24
<b>Figure III.5.</b> Taux d'humidité des fibres: a) en foction de temps, b) valeurs maximale	26
<b>Figure III.6.</b> Variation de taux d'humidité en fonction de temps pour <b>FR08</b>	27
<b>FigureIII.7.</b> Courbe type Force –Flèche de l'essai de flexion trois point sur les composites à différentes fraction massique : a) 4%, b) 10% c)16%	28
<b>Figure.III.8.</b> l'essais de flexion trois points Force maximale et Flèche maximale	29
<b>Figure.III.9.</b> Résultats de l'essai de flexion trois points pour les différentes fractions massique (4%, 10% et 16%): a) Module d'élasticité, b) Contrainte maximale	30

## *Listes des tableaux*

### *ChapiterIII: Caractérisation physique et mécanique des matériaux composites*

	<i>page</i>
<b>Tableau.III.1.</b> Masse de fibres pendant le séchage , $T=110^{\circ}\text{C}$ $t=30\text{min}$	25
<b>Tableau.III.2.</b> Taux d'humidité pendant le séchage $T=110^{\circ}\text{C}$ , $t=30\text{min}$	26
<b>Tableau.III.3.</b> Résultats de l'essai de flexion trois points des éprouvettesà différentes fraction massique (4% , 10% et 16)	29



## *Introduction*

*L'intérêt humain pour le recyclage des déchets naturels est devenu très clair, et cela présente plusieurs avantages, comme la disponibilité à faible coût, les performances mécaniques et thermiques de ces matériaux, ainsi que leur faible densité.*

*D'autre part, les matériaux naturels sont biodégradables et recyclables, et ces propriétés sont actuellement très importantes pour éviter les dommages environnementaux et sanitaires causés par l'utilisation industrielle de matériaux synthétiques. Dans ce contexte, nous nous sommes orientés dans ce travail vers la valorisation et le recyclage des déchets de palmier dattier.*

*Ce travail est présenté en trois chapitres principaux*

*Le premier chapitre, est un aperçu bibliographique qui montre les composants d'un matériau composite et la classification des composites selon plusieurs critères. De plus, nous avons présenté les matériaux bio-composites à base de fibres végétales et leurs fabrications.*

*Le deuxième chapitre, il a été consacré à la préparation des matériaux composites à base d'une matrice thermodurcissable Epoxy avec des différentes fractions massiques des fibres, après l'extraction et le nettoyage des fibres de palmier dattier.*

*Dans le troisième chapitre, nous avons étudié les propriétés physiques des fibres végétales extraites du palmier dattier, ainsi que l'effet de la fraction massique de ces fibres sur les propriétés mécaniques des matériaux composites à base d'une matrice époxy.*

# Chapitre I :

*Généralité*

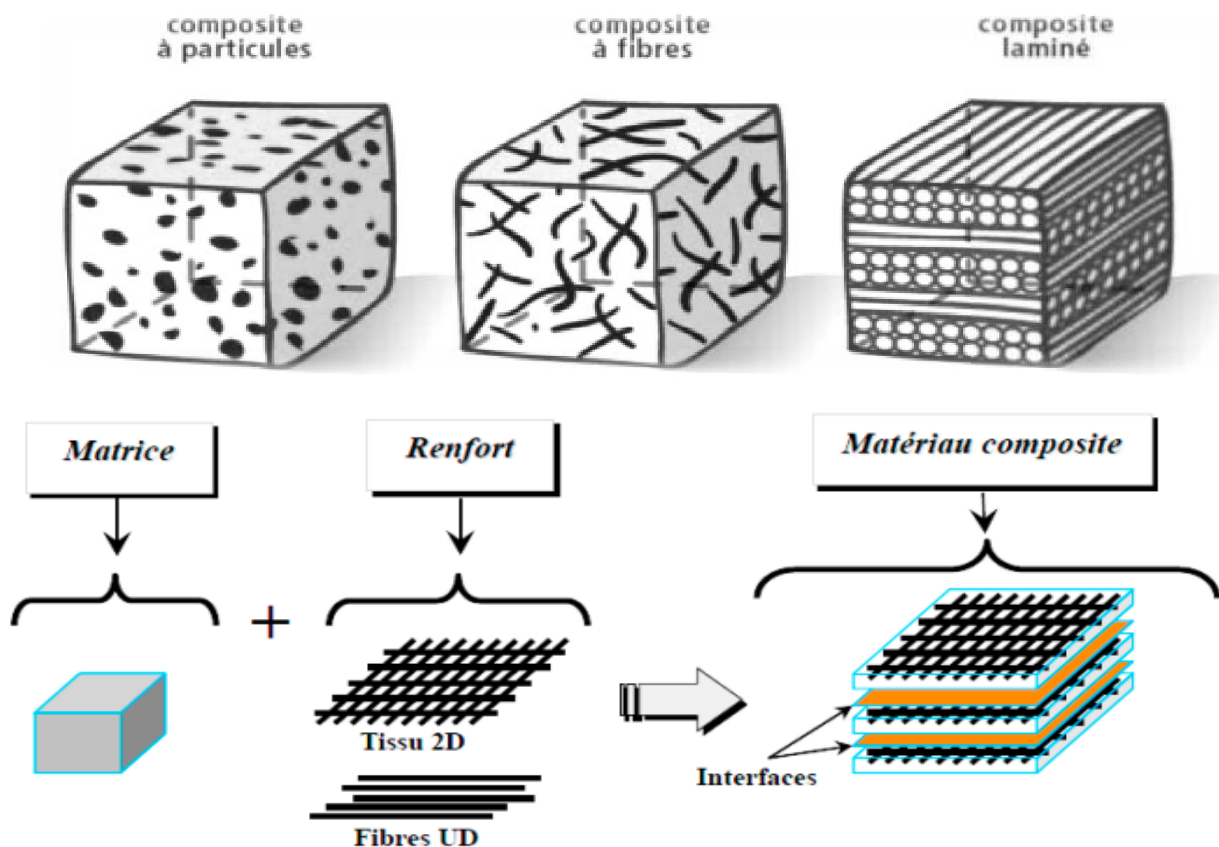
## Généralité sur les matériaux composites :

Dans ce chapitre, nous avons fourni des informations générales sur les matériaux composites et leur procédé de fabrication, puis classé ces matériaux par type de matrice, taille et catégories de fibres de renforcement. Nous nous sommes concentrés sur les composites à base de renforts naturels, dits bio-sources, notamment les renforts végétaux extraits du palmier dattier tels que les fibres.

### I.1 Définition et classification des composites:

Un matériau composite est un matériau à phases multiples constitué d'un groupe de substances dont la composition et la forme varient (*Figure 1.1*). Ces composantes sont habituellement la matrice et les renforcements qui sont liés les uns aux autres tout en préservant leurs identités et propriétés. Ces composants doivent offrir une capacité de corrélation élevée pour former un matériau présentant de nouvelles caractéristiques qui ne peuvent être obtenues par aucun des composants d'origine fonctionnant seuls. L'intérêt croissant pour les composites est principalement dû au potentiel d'économie de poids et à la production de pièces complexes.

Les compositions peuvent être classées en fonction de nombreuses caractéristiques dues au renforcement ou à la matrice. Nous proposons quatre catégories parmi les plus courantes [1.2].

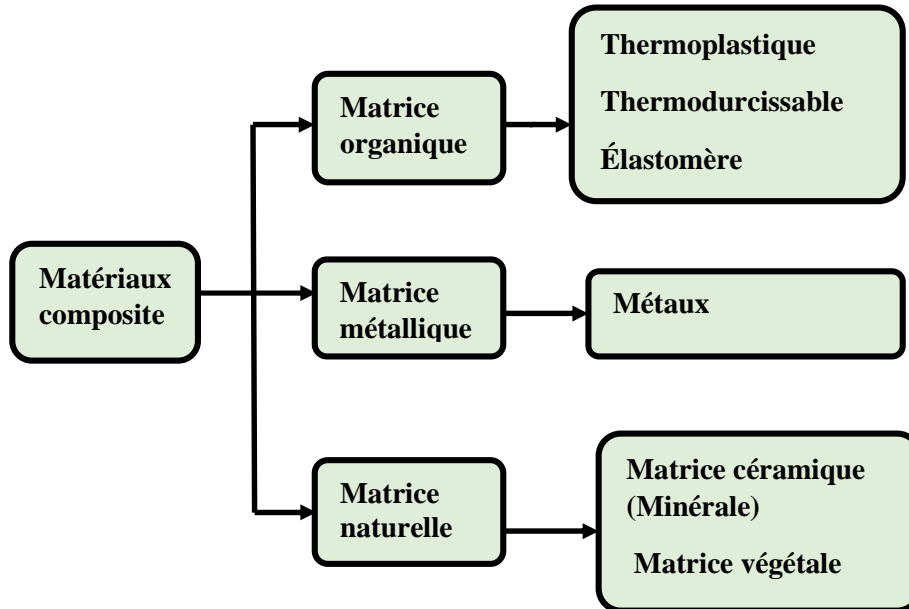


*Figure 1.1.* Matériaux composites à particules, à fibres et stratifiés [3.4]

### I.1.1 Classification selon le type de matrice:

Il y a trois types de matrices: les composites à matrice organique CMO, les composites à matrice céramique CMC et les composites à matrice métallique CMM ; [5]

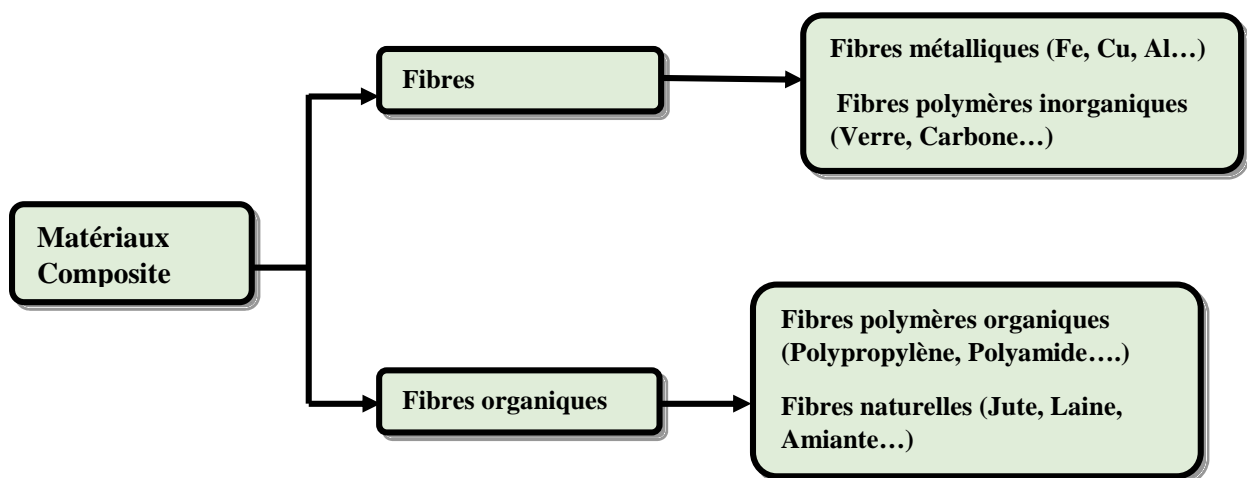
La **Figure I.1.1** représente une classification des composites selon la nature de la matrice.



**Figure I.1.1.** Classification des composites selon la matrice[6]

### I.1.2 Classification selon la catégorie du renfort:

La matrice est renforcée avec différentes fibres en termes d'origine ou de forme; il y a deux catégories des fibres : fibres inorganiques et fibres organiques; Ces fibres peuvent se présenter sous différentes formes: forme linéique, forme surfacique et en forme multidirectionnelle [7].



**Figure I.1.2.** Classification des composites selon la catégorie du renfort[6].

### I.1.3 Classification selon la forme du renfort:

La classification du composite selon la forme des renforts, que nous pouvons classer en trois familles. 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.[8] 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 [9].

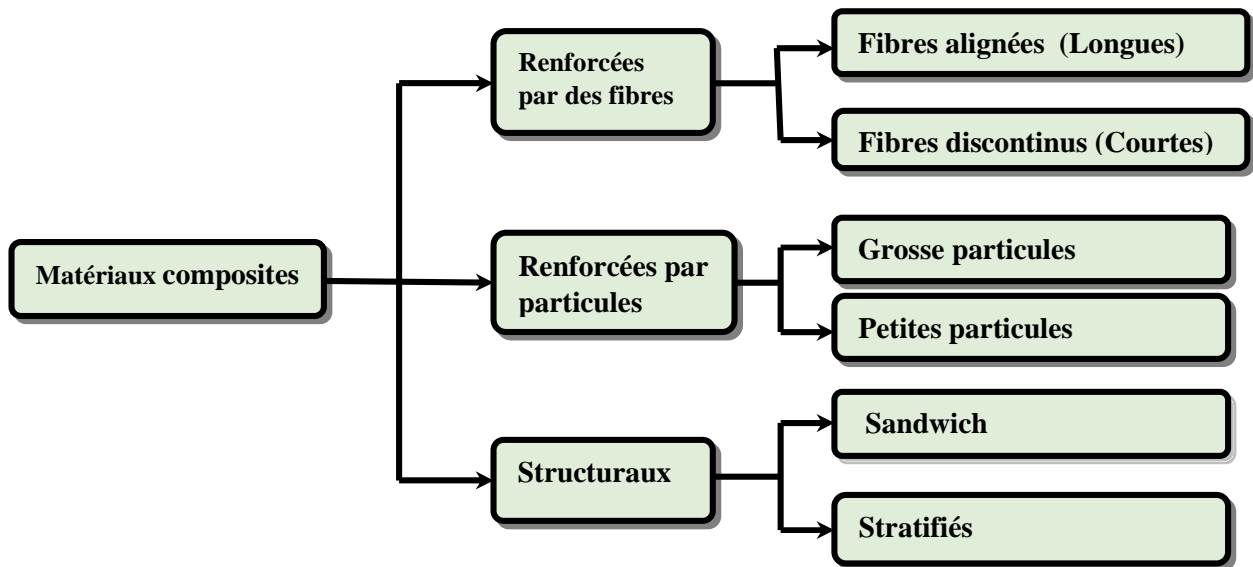


Figure I.1.3. Classification des composites selon la forme des renforts[6].

## I.2 Matériaux composites bio-sources :

La classification des matériaux composites bio-sources est généralement dépendante de la nature du renfort, de la nature de la matrice ou de la nature des composants réunis.

### I.2.1 Renforts à fibres végétales:

Ces fibres naturelles, intéressantes du point de vue disponibilité et possibilité du recyclage, peuvent Apporter, de par leur nature, des caractéristiques supplémentaires aux composites, notamment en termes de propriétés mécaniques et physiques.

Il existe une grande variété de fibres naturelles qui peuvent être utilisées pour le renforcement ou comme charges [10.11]

La Figure I.2.1.a représenté une classification des fibres naturelles selon l'origine.

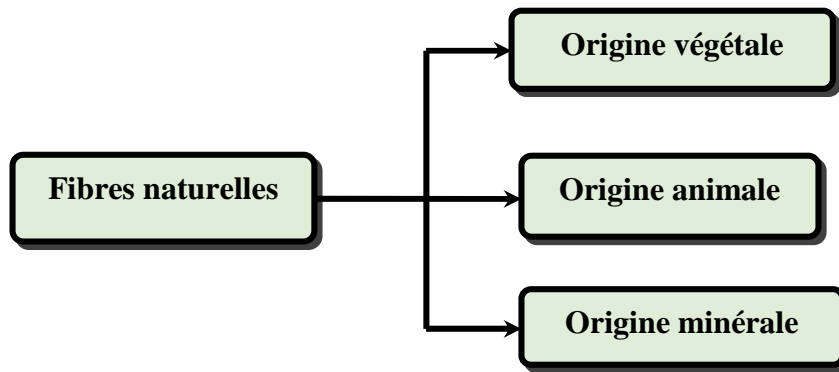


Figure I.2.1.a. Classification des fibres naturelles selon l'origine [11]

Si nous nous intéressons particulièrement aux fibres végétales, elles sont issues de la biomasse et peuvent être obtenues à partir des fruits, des tiges ou des feuilles de la plante. Nous pouvons subdiviser les fibres végétales en cinq groupes selon la source d'extraction, à savoir la graine, la feuille, le fruit, la tige libérienne ou dure

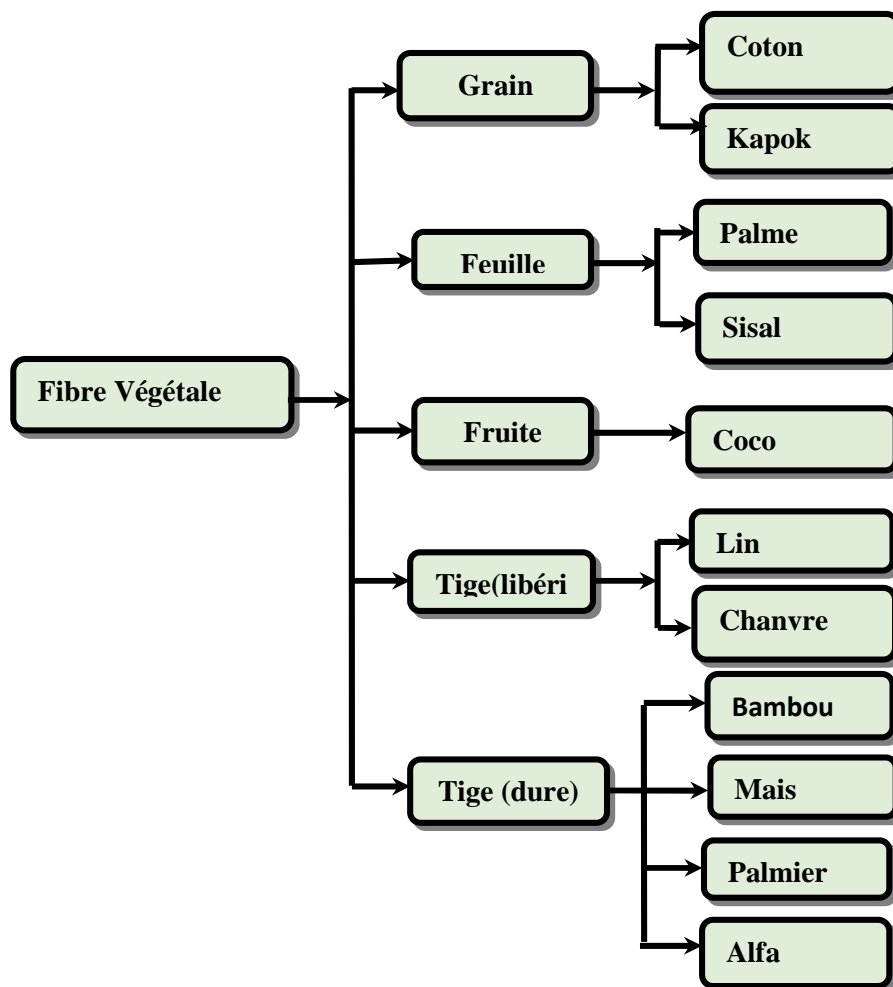


Figure I.2.1.b. Classification des fibres végétales selon l'origine [6].

### I.2.1.1 Méthodes d'extraction des fibres végétales:

Ces techniques utilisées pour séparer et délivrer les fibres sont l'extraction mécanique, chimique et biologique.

#### a) L'extraction mécanique:

Cette technique est basée sur la séparation des fibres par des procédures mécaniques utilisant une machine ou un manuel. Dans cette extraction, il y a deux problèmes : Le premier est le risque élevé d'avoir de faibles propriétés mécaniques et de changer les propriétés inhérentes des fibres.

#### b) L'extraction biologique:

C'est une technique naturelle pour l'extraction des fibres, par l'utilisation d'agents microbiens ou en développant des micro-organismes capables de séparer les éléments non cellulosiques de la partie fibreuse de la plante en éliminant les liaisons qui les unissent. Cette méthode est très efficace

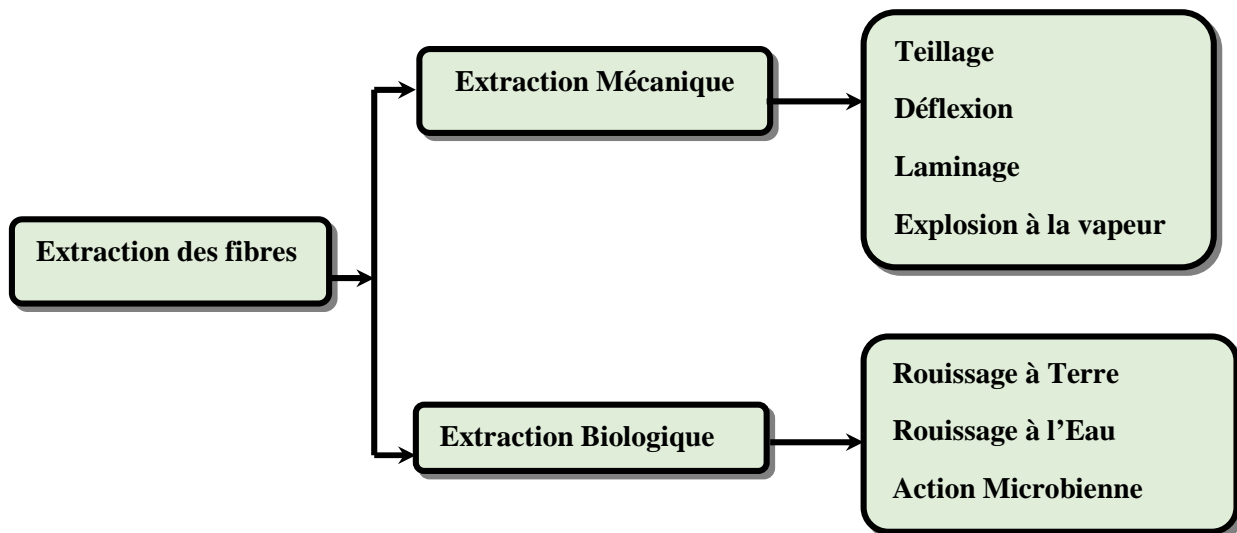


Figure I.2.1.1. Différentes techniques d'extraction des fibres végétales [6]

### I.2.2 Matrices:

La matrice qui constitue l'une des composantes des matériaux composites bio-sourcés est une matrice organique ou une matrice naturelle biodégradable ; La matrice joue un rôle clé dans la cohésion entre les fibres végétales, assurant leur protection chimique et la forme du produit final[12.13]

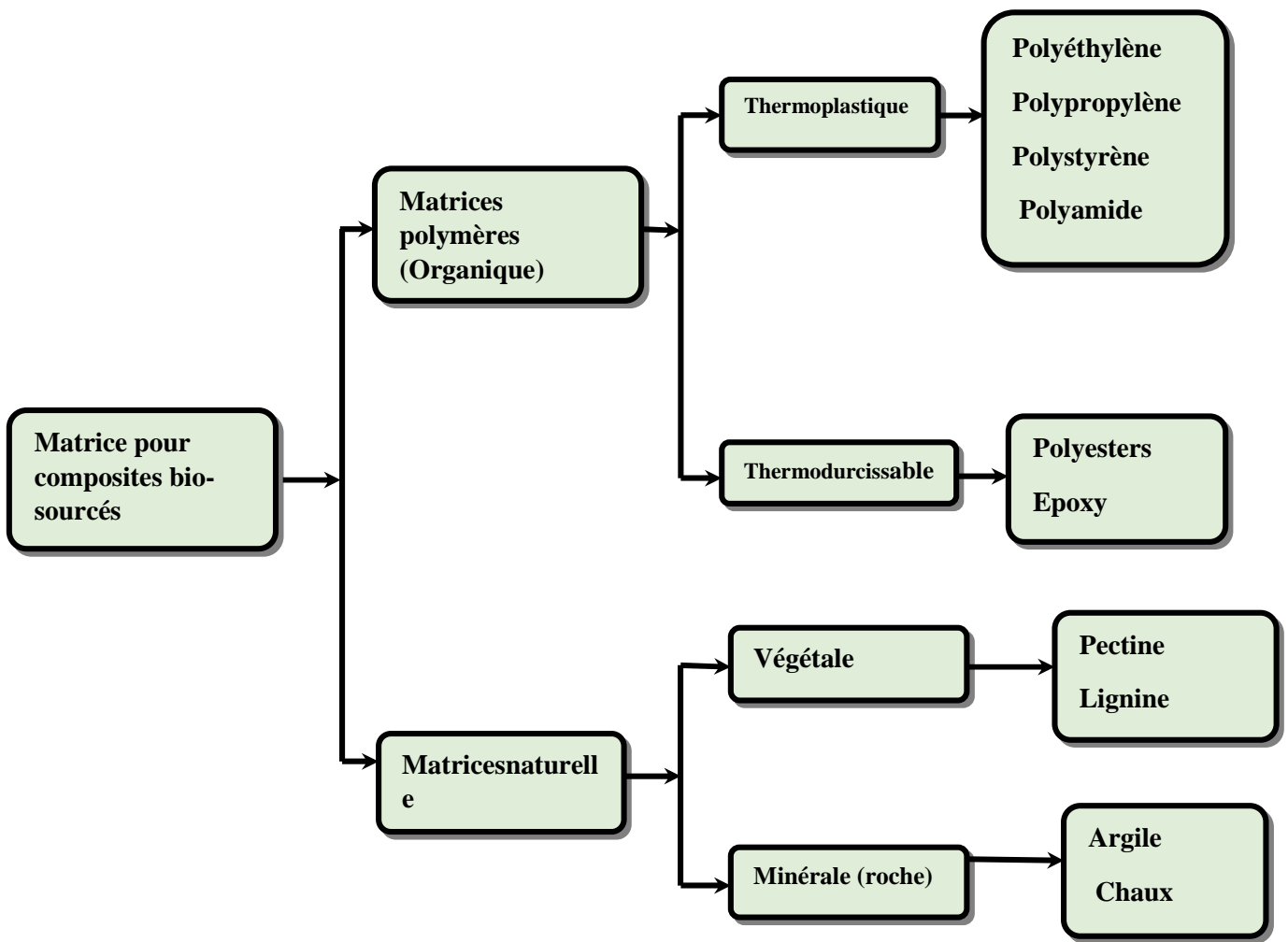


Figure I.2.2. Matrice utilisée pour les matériaux composites bio-sourcés [6]

### I.2.2.1 Matrices polymères:

Il existe deux types de matrices polymères qui possèdent des propriétés foncièrement différentes et sont employées dans des filières distinctes :

- \_ Les **thermoplastiques**, qui se présentent sous forme solide (granulés, plaques...) et que l'on met en forme en les ramollissant par chauffage, puis en les solidifiant par refroidissement
- \_ Les **thermodurcissables**, qui se présentent sous forme liquide visqueuse et que l'on met en forme en déclenchant une réaction chimique de polymérisation par ajout d'un durcisseur ce qui entraîne une solidification.



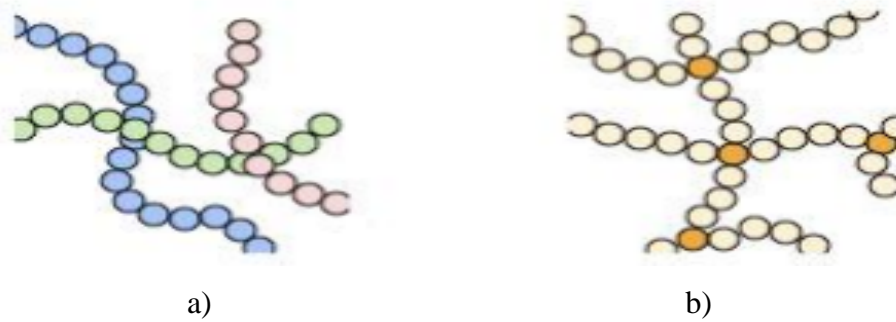


Figure 1.2.2.1. Structures moléculaires des polymères :

a) polymère thermoplastique, b) polymère thermodurcissable [5]

### I.2.2.2 Matrices naturelles:

La matrice naturelle est composée de polymères d'origine naturelle issus de la transformation chimique de deux ou plusieurs constituants différents, solides et liquides. Les sources d'extraction de la matière solide sont minérales, végétales ou animales. Les liquides peuvent être des huiles végétales, de l'alcool végétal ou tout simplement de l'eau. Les matrices végétales sont obtenues soit à partir de l'extraction d'un solide végétal mélangé ensuite une solution, soit à partir de l'exsudat naturel des substances naturelles sécrétées par certains végétaux, les conifères essentiellement.

### I.3 Procédés de fabrication des composites:

L'industrie utilise une vaste gamme de méthodes de mise en œuvre des matériaux composites. Ces procédés peuvent être classés en fonction de la nature de la matrice utilisée, Comme le présente la *Figure 1.3.1*

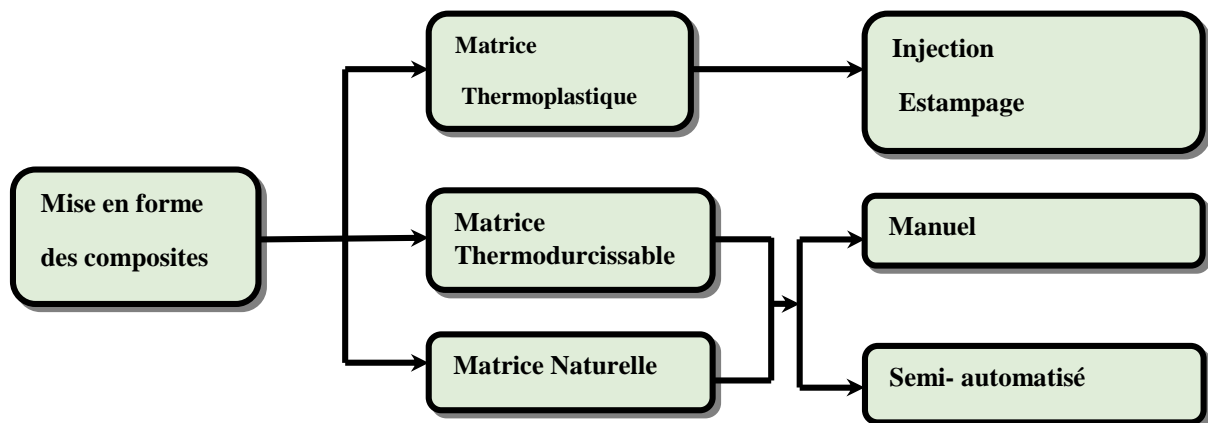


Figure 1.3.1. Mise en œuvre des matériaux composites selon la nature de la matrice [6]

Parmi les procédés de mise en œuvre des matériaux composites, on distingue:

- **Moulage par contact** : Le moulage par contact consiste en une imprégnation manuelle d'un matériau de renfort préalablement enduit d'un agent de démoulage et placé dans un moule recouvert d'une couche superficielle appelée gelcoat[14].
- **La projection simultanée (PS)** : La projection simultanée est un procédé semi-mécanisé qui permet la réalisation de pièces de grandes dimensions aux formes simples ou complexes. Rapide et facile à mettre en œuvre, il nécessite l'utilisation d'une machine de projection assurant la découpe du fil, l'imprégnation et sa projection sur le moule.
- **Le procédé RTM (Resintransfermolding)** : le moulage par injection à basse pression de résine est une technique de fabrication de pièces en matériaux composites. C'est un procédé industriel d'injection à basse pression de résine liquide dans un moule rigide et fermé.
- **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.
- **Le moulage par compression à chaud (BP)** : 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 et surtout des thermodurcissables.
- **Le SMC (SheetMoulding Compound)**: c'est un moulage à haute pression des semi-produits composé de matrice et de renfort. Il permet de fabriquer des pièces dans de très nombreux secteurs d'activités
- **Le BMC (BulkMolding Compound)** : c'est un mélange généralement moulé par compression de matrice, charges et renforts sous forme de fibres coupées à l'aide d'une presse à injection, sous des pressions de 150 à 180 bars, à grande vitesse dans un moule fermé et régulé en température entre 150 et 160 °C et destinés aux procédés de moulage pour grandes séries.



Figure I.3.2. Quelques procédés de mise en œuvre des composites [6]

#### I.4 Palmier dattier :

Le dattier Phoenix dactylifera est un palmier précieux pour zone aride ou saline. En tant que producteur de dattes, ce palmier est le plus cultivé : il montre une croissance rapide et une certaine rusticité, mais craint l'humidité hivernale.

La wilaya de Biskra est considérée comme le principal centre de production de dattes en Algérie, en particulier Deglet-Nour. Biskra occupée plus de 4 385 100 ha de superficie avec plus de 434 500 000 palmiers productifs.

Le palmier dattier est une plante monocotylédone dont le torse contient du bois fibreux et le tissu entourant le torse est appelé localement Lif. C'est également une plante dioïque à pattes mâles (Dokkar) et femelles (Nakhla). Le dattier a un tronc très fin (Stipe), allant jusqu'à 30 m de haut, nettement couvert par les gaines (Pétiole) des feuilles tombées (Palme) et les tissus environnants (Lif). La [Figure I.4](#) présente les principaux composants de palmier dattier [15.16].

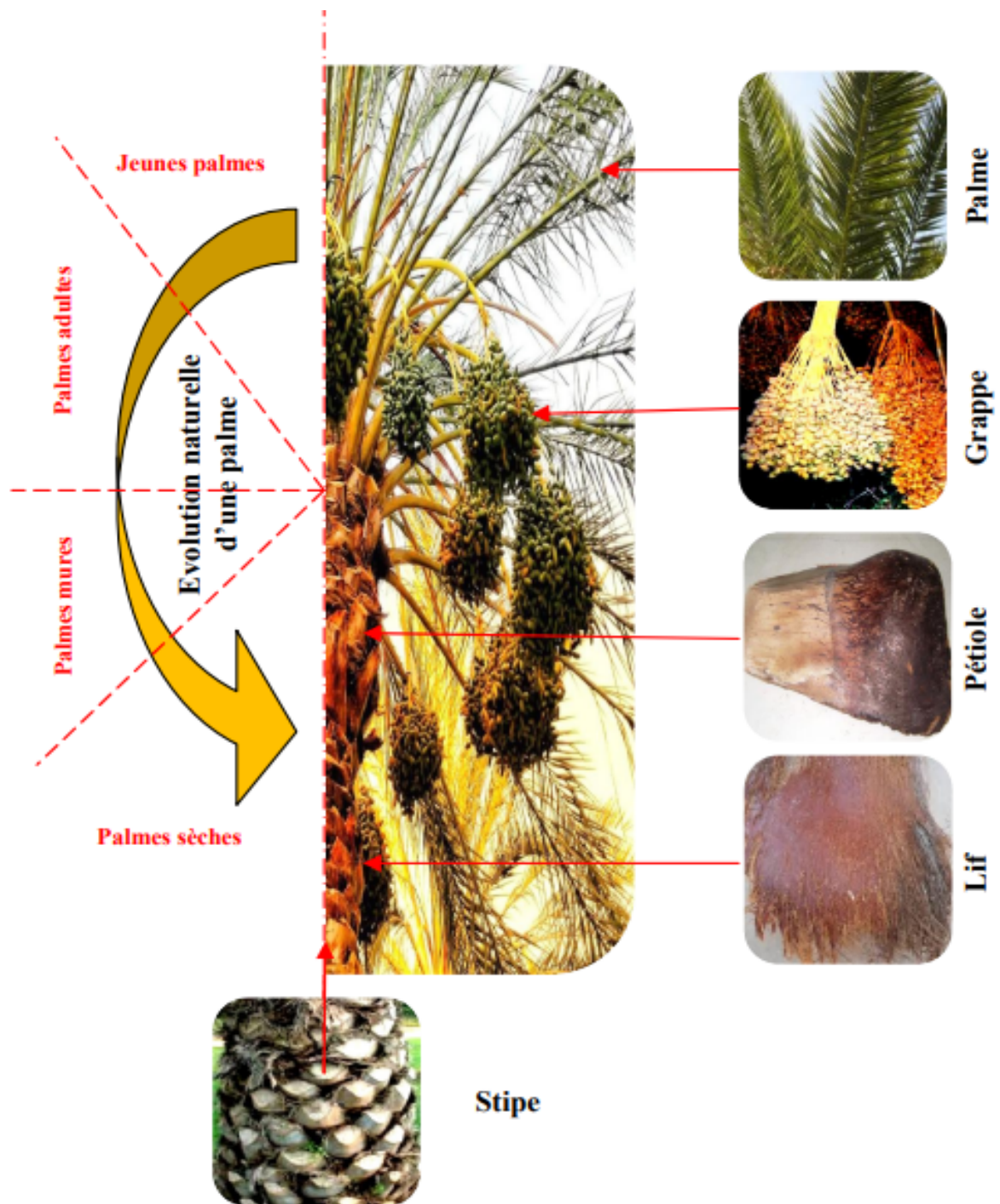
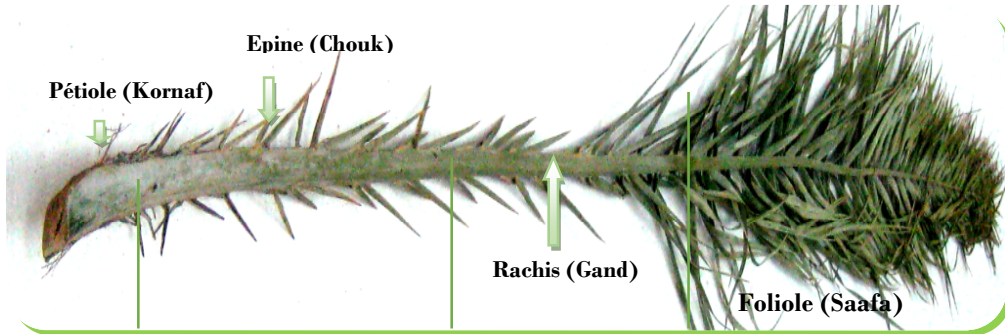


Figure I.4. Différentes parties d'un palmier dattier et l'évolution naturelle d'une palme [6]

### I.4.1 La palme :

S'appelé «Djérid» sont composés, feuilles pennées, La base pétiole, ou kornaf, engaine partiellement le tronc et est partiellement couvert par fibrille. La *Figure I.4.1* présente les différentes parties d'une palme mûre.



*Figure I.4.1.* Différentes parties d'une palme mûre [15]

# Chapitre III :

*Élaboration et préparation des  
matériaux composites*



L'objet de ce chapitre est de préparer des matériaux composites à base de fibres de palmier dattier avec différentes fractions massiques. La matrice est une matrice époxy thermodurcissable. Puis la préparation des éprouvettes pour la caractérisation mécanique de ces bio-composites.

## II.1 Présentation et élaborations des matériaux:

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

### II.1.1 Fibres:

Le 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.

La *Figure II.1* montre les palmes et la partie rachis que nous avons utilisé dans cette étude.



a)

b)

*Figure. II.1.* Déchets des palmiers dattiers. a) Palmes, b) Rachis

Les fibres de renforts sont obtenues par la technique d'extraction mécanique sur le fibre de rachis selon les cinq étapes suivantes :

### **Première étape : Processus de coupe:**

Cette étape est la première étape après la collection des rachis du palme, nous avons coupé le rachis en quatre parties à l'aide d'une scie électrique, et cela a été fait dans le hall de Technologie de Génie mécanique université de Biskra.



*Figure.II.2.* Découpe de rachis

### **Deuxième étape : Processus de Broyeur:**

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

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

La *Figure.II.3* montre l'étape de premier broyage.



*Figure. II.3.* Premier broyage



Le second broyage a été réalisé à l'aide d'un broyeur de type **BOMANN** et de puissance **2000Watt** et la vitesse de rotation **28000 tour/min** 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.4** montre l'étape de second broyage.



**Figure .II.4.** Second broyage

### **Troisième étape : Procédures de tamisage:**

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 fibre 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 minutes.

La **Figure.II.5** montre l'étape de tamisage



**Figure. II.5.** Machine de tamisage

### Quatrième étape : *Nettoyer les fibres:*

Pour s'assurer que les fibres obtenues de différentes tailles sont nettoyées sans les perdre. Nous avons utilisé des filtres en tissu ultra-fins avec un épurateur avec de l'eau distillée chaude à 80°C



**Figure. II.6.** Processus de nettoyage des fibres(1)

### Cinquième étape : *Séchage des fibres :*

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 réalisées. Nous avons utilisé une étuve type **DIN EN 61010-1** à une température de séchage de 110 °C. La masse des fibres de différentes tailles a été mesurée toutes les trois heures de séchage jusqu'à ce que la masse des fibres devienne stable.

La **Figure.II.7** montre l'étape de séchage des fibres



**Figure. II.7.** Séchage des fibres à étuve électrique **DIN EN 61010-1(07.2011)**

### II.1.2 Matrice:

La matrice employée pour la préparation de matériaux composites est : époxyde c'est unmatrice Thermodurcissable (Époxy Résine Scapa Polymeric 41), à température ambiante, semi-rigide; Sa densité est de  $1,03 \text{ g/cm}^3$ . Le temps de durcissement est adapté au climat et la matrice est facile à mélanger. *Figure II.8*



*Figure. II.8.* Époxy Résine

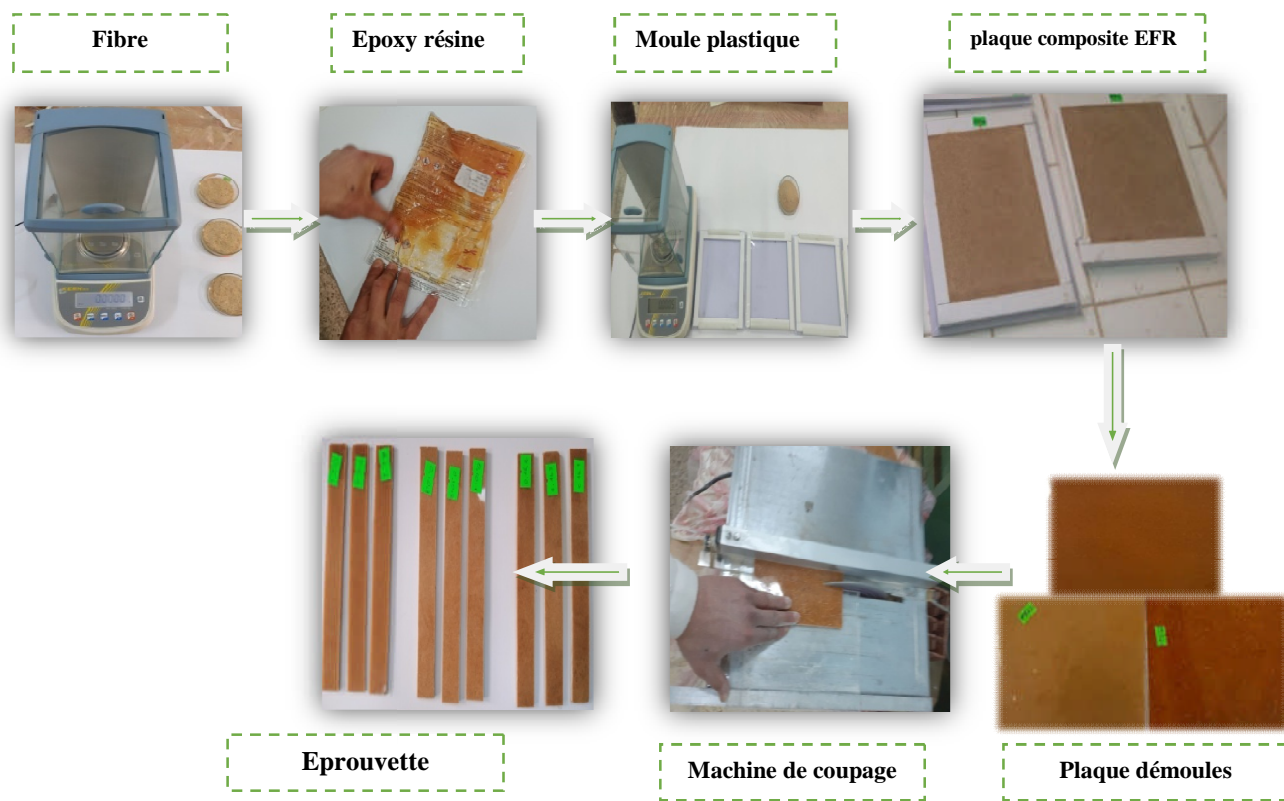
### II.2 Composite (Epoxy/Fibre de rachis):

Le moulage manuel des plaques du mélange Epoxy/Fibre de Rachis est réalisé par l'utilisation d'un moule en plastique de volume  $(180 \times 160 \times 4) \text{ mm}^3$ .

Les plaques obtenues laisser pendant une semaine, Lamise en œuvre des plaques en matériau composite est effectuée pour différentes valeurs de fraction massique (04%, 10% et 16%) à taille fibre fixe 0,08 mm.

Les éprouvettes obtenues après la découpe à l'aide d'une scie électrique selon la norme **CROWN Tile Cutter** de puissance **450 Watts**, sont référencées suivant le type de fibres EFR et la fraction massique des fibres (EFR04, EFR10 et EFR16).

La **Figure. II.9.** présente les différentes étapes de préparation des plaques composites et les éprouvettes.



**Figure .II.9.** Protocole de préparation des plaques : époxyde/fibre de la palme.

# Chapitre III :

*Caractérisation physique et mécanique des  
matériaux 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 fractions massiques de fibres de palmier dattier de taille constante. La caractérisation mécanique se fait au moyen d'un essai de flexion trois points.

### III.1 Propriété physique des fibres:

La teneur en eau des fibres est déterminée immédiatement après le deuxième nettoyage. Des échantillons propres et humides des fibres de masse initiale  $M_h$  sont placés dans une étuve à température de 110 °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  $M_s$  (*Figure. III.1*).

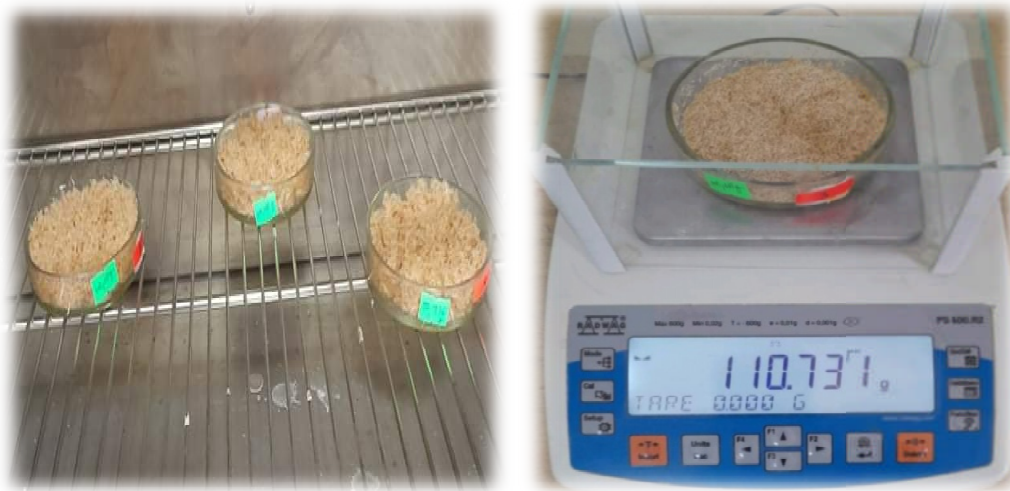
Le taux d'humidité  $H\%$  est déterminé à partir de la formule suivante :

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

$H\%$  : Pourcentage d'eau dans la fibre humide (taux d'humidité)

$M_h$  : Masse d'échantillon avant séchage.

$M_s$ : Masse d'échantillon après séchage.



a)

b)

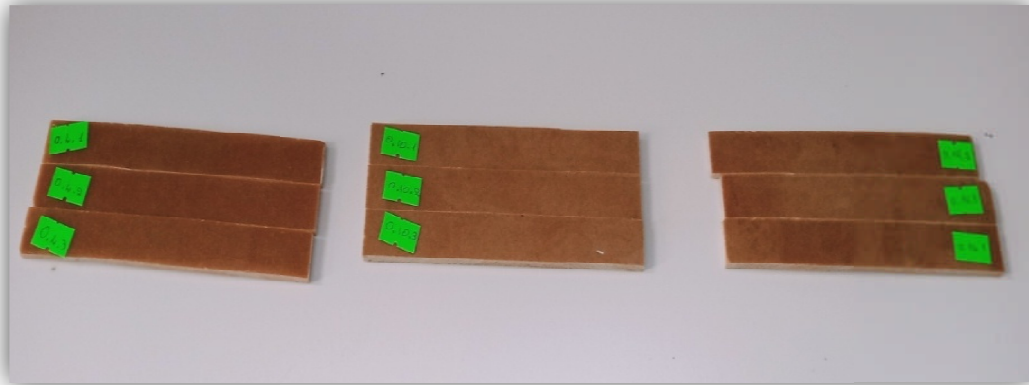
*Figure .III.1.* Appareil de mesure

a) étuve électrique, b) balance électronique *Kern V3.1*



### III.2 Propriétés mécaniques de composite:

Lors de la préparation des échantillons composites pour le test mécanique de flexion trois points, nous avons choisi une taille de fibre fixe de 0,08 mm avec différentes fractions massiques de fibres (0,08, 0,315 et 0,8 mm), et les échantillons composites sont coupés selon les dimensions suivantes (70 x 20 x 4) mm<sup>3</sup>



*Figure. III.2.*Éprouvettes d'essais flexion trois points

Les tests de flexion trois points ont été effectués à l'aide d'une machine universelle de type *TesT.GmbH.112.5KN.2017* contrôlée par ordinateur avec le logiciel *Test WINNER 950* Les cellules utilisées ont une capacité maximale de **5 KN**.



*Figure.III.3.*Machine universelle de type *TesT.GmbH.112.5KN.2017*

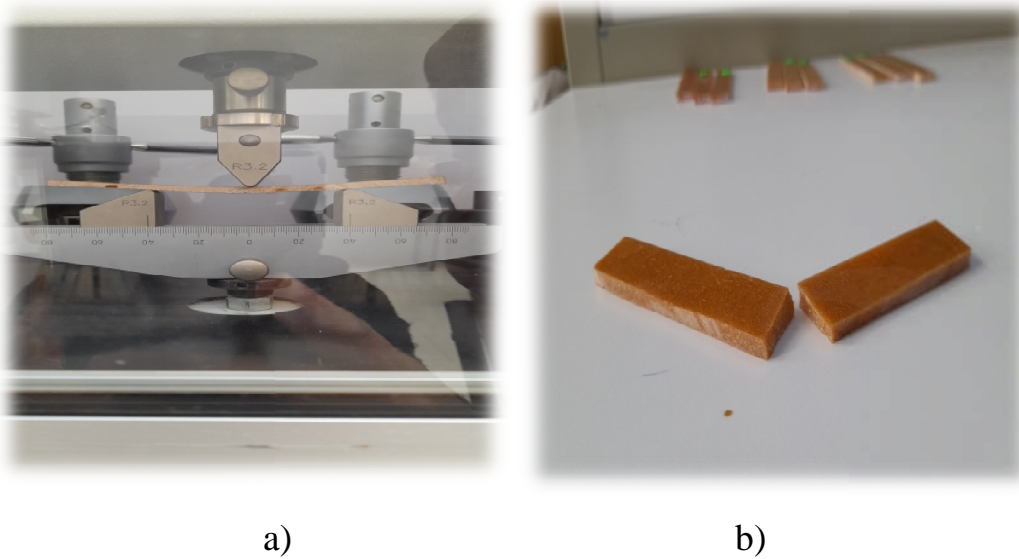
Le *TesT* de flexion statique s'effectue suivant la norme *NF en ISO 178* .La vitesse de l'essai est de 5 mm/min .En exploitant les courbes force-flèche obtenues par l'essai de la flexion trois points, on

peut déterminer le module d'élasticité En flexion  $E_f$  selon la formule (III.1), suivant la norme *NFT 51 001*. La contrainte de flexion  $\sigma$  est déterminée selon la formule (III.2)

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

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

La *Figure III.4* présente l'essai de flexion trois points



*Figure III.4*. Essai mécanique

a) Essai flexion trois points .b)éprouvettes après l'essai

### III.3 Résultats et discussion:

#### III.3.1 Propriété physique de fibre:

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 les *Tableaux III.1* et *III.2*.

*Tableau. III.1* Présente la variation de la masse de fibres pour différentes tailles lors du séchage à 110°C toutes les 30 minutes



<b>Masse des fibresMs [g]</b>									
	Taille 0,08 mm			Taille 0, 315 mm			Taille 0,8 mm		
<b>Temps</b>	<b>Ech1</b>	<b>Ech2</b>	<b>Ech3</b>	<b>Ech1</b>	<b>Ech2</b>	<b>Ech3</b>	<b>Ech1</b>	<b>Ech2</b>	<b>Ech3</b>
<b>0min</b>	20,78	19,22	16,56	28,94	45,09	48,63	36,32	28,60	30,46
<b>30min</b>	11,18	9,729	8,133	16,50	31,39	34,38	19,36	14,75	16,57
<b>60min</b>	5,624	5,189	4,163	9,639	19,68	21,88	11,66	8,096	9,15
<b>90min</b>	4,924	4,819	4,093	7,273	13,25	14,5	8,177	6,786	7,31
<b>120min</b>	4,924	4,799	4,093	7,385	9,273	10,19	7,64	6,713	7,22
<b>150min</b>	4,924	4,789	4,093	7,044	9,056	9,812	0	0	0
<b>180min</b>	0	0	0	0	9,051	0	0	0	0
<b>210min</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Msfinal</b>	4,924	4,789	4,093	7,044	9,051	9,812	7,64	6,713	7,22

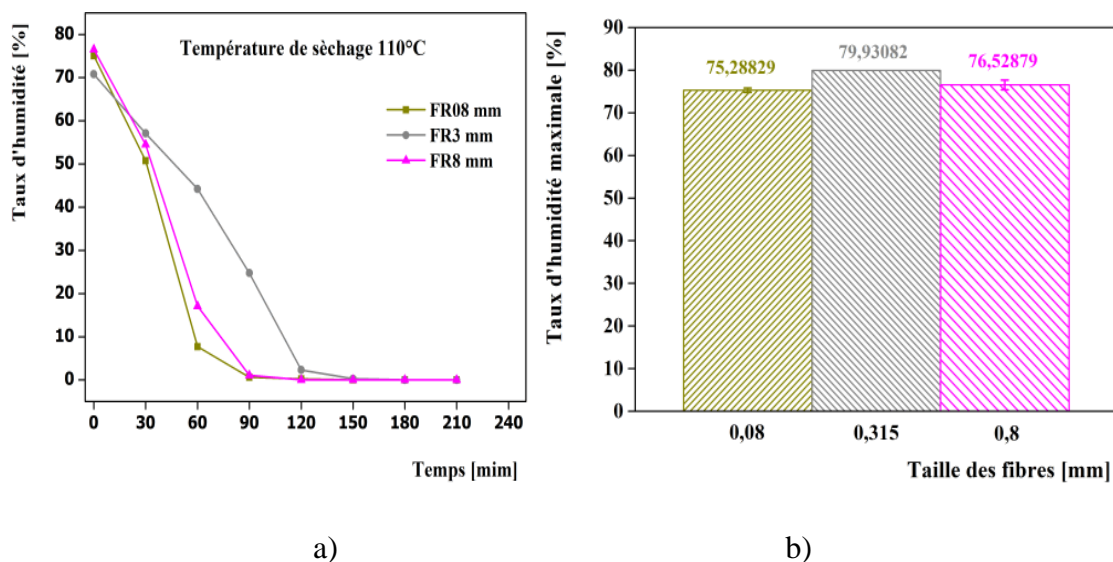
*Tableau. III.1.* Masse de fibres pendant le séchage, T=110°C, t=30min

**Tableau.III.2** Présente le taux d'humidité pendant le séchage à température de 110°C pour différentes tailles des fibres.

Temps	Taux humidité(%)		
	Taille 0,08mm	Taille 0,315mm	Taille 0,8mm
30min	75,288	79,930	76,528
60min	50,776	71,174	56,375
90min	7,708	54,016	21,054
120min	0	31,695	1,1080
150min	0	3,756	0
180min	0	0	0

**Tableau. III.2.** Taux d’humidité pendant le séchage T=110°C, t=30min

La **Figure.III.5.a** présente la variation de taux d'humidité en fonction du temps pour différentes tailles de fibre à une température de séchage de 100°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.5.b**.



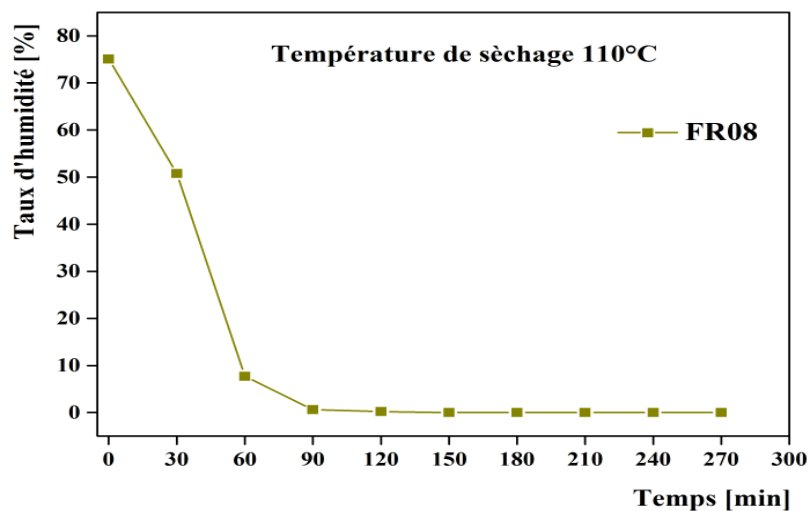
**Figure. III.5.** Taux d’humidité des fibres: a) en fonction de temps, b) valeurs maximale

Nous remarquons que les courbes taux d'humidité en fonction du temps des différentes tailles de fibres ont la même allure de variation.

La taille de fibre de **0,315 mm (FR3)** représente la valeur maximale du taux d'humidité de **79,930 %**, ce qui prend entre **[70-80]** 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 100]** minutes pour stabiliser les valeurs d'humidité à **75,288 %**. La taille de fibre de **0,08 mm (FR08)** prend le temps de séchage le plus long entre **[120 et 150]** minutes et présente la valeur de taux d'humidité le plus bas de **75,288 %**.

La **Figure.III.6** présente la variation de la quantité d'eau perdue en fonction du temps pour une taille de fibres **0,08 mm (FR08)** à une température de séchage **110°C**



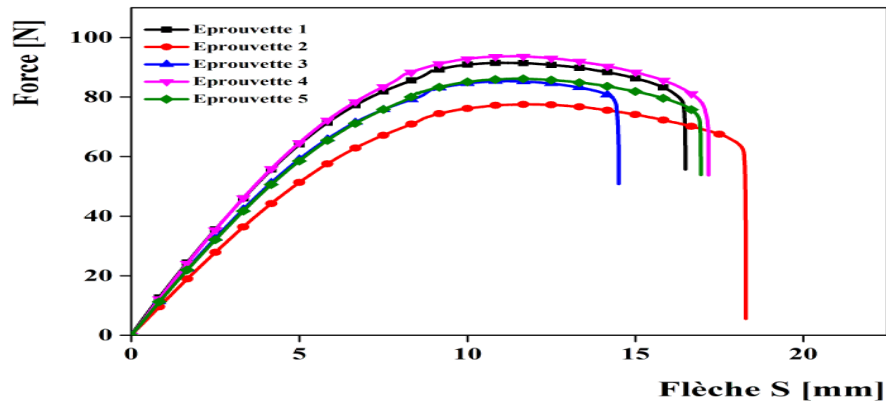
**Figure.III.6.** Variation de taux d'humidité en fonction de temps pour **FR08**

Nous remarquons que la quantité taux d'humidité diminue en fonction du temps; Où l'on constate que le taux d'humidité de taille de fibre **FR08** prend une valeur maximale **75,288 %** et commence à décroître significativement après **60** minutes jusqu'à ce que la masse de fibre se stabilise à **120** minutes de temps.

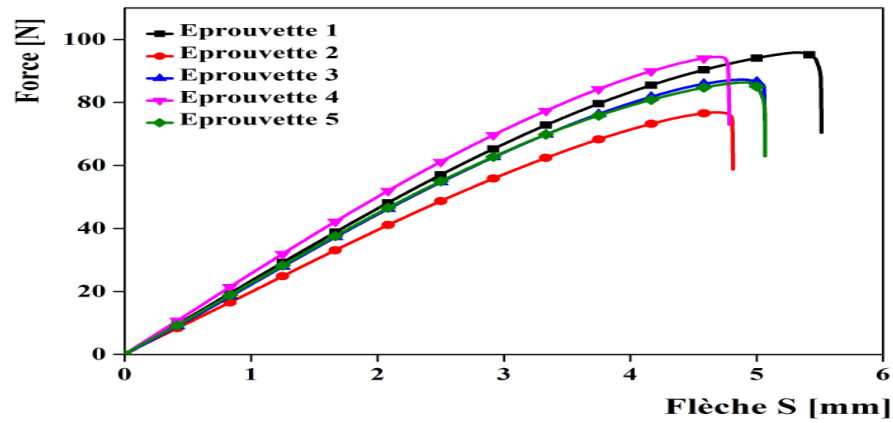
### III.3.2 Propriétés mécaniques de composite:

Les résultats obtenus des essais de flexion trois points sur des éprouvettes en matériaux composites à différentes fractions massiques de fibres (4%, 10% et 16%) sont présentés par des courbes de force-flèche de la **Figure.III.7**

a) 4%



b) 10%



c) 16%

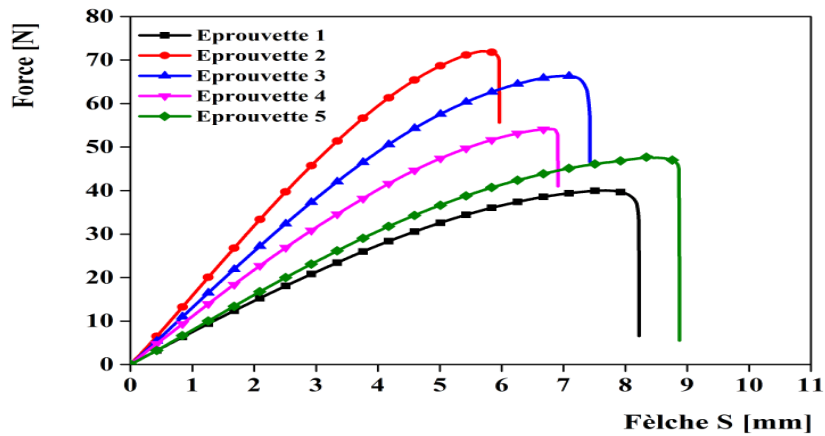


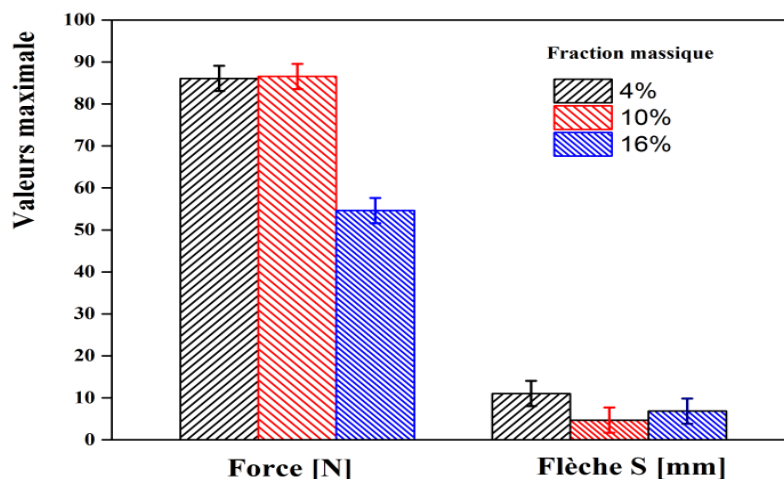
Figure.III.7. Courbe type Force –Flèche de l’essai de flexion trois point sur les composites à différentes fraction massique : a) 4%, b) 10% c) 16%.

Les propriétés mécaniques calculées dans le domaine élastique des matériaux composites à différentes fraction massique (4%, 10% et 16%) de fibres avec une taille de fibres de 0.08 mm sont présentées dans les **Tableaux.III.3**.

Fraction massique %	Fmax[N]	Smax[mm]	E[Mpa]	σmax[Mpa]
FR4%	86,089±3	11,025±3	887,082±62,457	30,315±2,392
FR10%	86,547±3	4,692±3	1020,344±66,941	21,378±3,196
FR16%	54,608±3	6,842±3	856,836±212,885	22,815±1,222

**Tableau .III.3.** Résultats de l'essai de flexion trois points des éprouvettes à différentes fraction massique (4% , 10% et 16)

La **Figure.III.8** présente les valeurs des force applique sur les matériaux composites à différent fraction massique (4%, 10% et 16%) avec une taille des fibres de **0,08mm** et les valeurs des flèches correspondants.

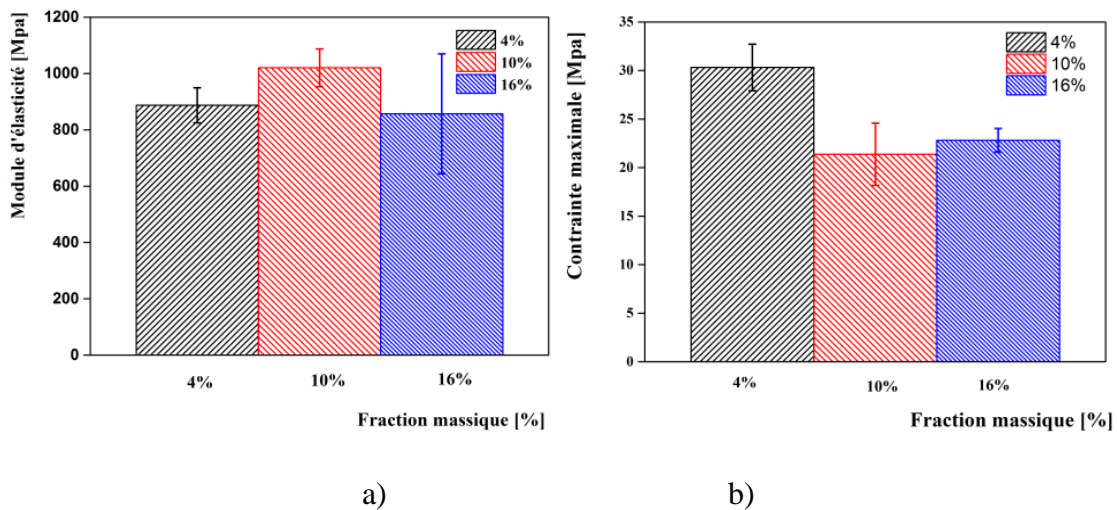


**Figure .III.8.** l'essais deflexion trois points Force maximale et Flèche maximale

Un taux de fibres de 10% dans ce composite donne les valeurs les plus élevées du module d'élasticité du composite, et ces valeurs sont réduites pour une fraction massique de fibres supérieure

ou inférieure à 10%. De plus, les valeurs de contrainte maximale augmentent avec l'augmentation du pourcentage de masse de fibres (Fraction massique).

Le **Figure.III.9** présente la variation du module d'élasticité et la contrainte maximale obtenues par l'essai de flexion sur les éprouvettes des composites à différentes fractions massiques, on remarque que le module d'élasticité et la contrainte sont différents pour les différentes fractions massiques. Le module d'élasticité augmente jusqu'à **1000 MPa** à la fraction massique **10%** des fibres ; D'autre part, il convient de noter que la valeur de la contrainte maximale très élevée de la fraction massique **4%** est de **30,315 MPa** par rapport à la fraction massique **10%** et **16%** qui sont respectivement de **21,378 MPa** et **22,815 MPa**.



**Figure.III.9.** Résultats de l'essai de flexion trois points pour les différentes fractions massiques (4%, 10% et 16%): a) Module d'élasticité, b) Contrainte maximale

Nous pouvons conclure d'après les résultats mécaniques obtenus que le matériau avec une fraction massique de 10% des fibres est le matériau le plus dur car il a une faible déflexion correspondant à une charge plus élevée par rapport aux composites avec une fraction massique de 4% et 16%.

## Conclusion

*Dans ce travail, nous avons atteint notre objectif principal de valorisation et d'exploitation des déchets végétaux des palmeraies, notamment les palmes des palmiers dattiers. En effet, l'utilisation des fibre rachis de ces palmes.*

*La première partie est consacrée à l'étude des matières premières dans cette étude. C'est une caractérisation physique des fibres extraites de la palme d'un palmier dattier.*

*La deuxième partie présente une application possible de ces biomatériaux par la préparation des plaques bio-composites (époxy-fibre rachis). De plus, une caractérisation des différents types de composites élaborés à base des fibres du rachis à différentes fraction massique avec une matrice époxy (EFR), Les propriétés mécaniques de ces composites ont été évaluées pour de différentes fractions massiques des fibres. Le comportement mécanique de ses composite a été étudié par l'essai de flexion trois points.*

*Les résultats de la caractérisation mécanique après l'essai de flexion trois points sur le matériau composite proposé sont intéressants par rapport les propriétés mécaniques de la matrice vierge ( $E=0.9$  GPa et  $16.73$  MPa). Les résultats obtenus par cet essai mécanique sur des composés à différentes fractions massiques de fibres de palmier dattier sont différentes. De plus, la fraction massique de ces fibres influe directement sur les propriétés mécaniques de ces composites. Un taux de fibres de 10% dans ce composite donne les valeurs les plus élevées du module d'élasticité du composite, et ces valeurs sont réduites pour une fraction massique de fibres supérieure ou inférieure à 10%. De plus, les valeurs de contrainte maximale augmentent avec l'augmentation du pourcentage de masse de fibres (Fraction massique).*

## *Référence:*

- [1] R. Kueny, "Biocomposites: composites de hautes technologies en renfort des fibres
- [2] S. M. Lee, Dictionary of composite materials technology: CRC Press, 1995.
- [3] Borgna, T., 2017. Études des propriétés de composite à matrice thermoplastique thermostable au-delà de leur température de transition vitreuse (Doctoral dissertation, Pau).
- [4] MOKHTARI Ahcene, modélisation du comportement et de l'endommagement des composites à matrice thermoplastique, These de Doctorat en Génie Mécanique, université mouloud mammeritizi-ouzou
- [5] L. Gendre, "Les grandes familles de matériaux composites," ENS CACHAN, Université de PARIS-SACLAY. France, 2011.
- [6] 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.
- [7] S. Swier, G. Van Assche, and B. Van Mele, "Reaction kinetics modeling and thermal properties of epoxy-amines as measured by modulated-temperature DSC. Linear step-growth polymerization of DGEBA+ aniline," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 91, pp. 2798-2813, 2004.
- [8] J. M. Berthelot, *Matériaux composites: Comportement mécanique et analyse des structures.*, 5e édition Tec & Doc, Paris, France. ed, 2012.
- [9] C. Baley, Y. Grohens, and I. Pillin, "State-of-the-art of biodégradable composite matériels," *Revue des Composites et des Matériaux Avancés*, vol. 14, pp. 135-166, 2004
- [10] V. V. D. Thi., "Matériaux composites à fibres naturelles/polymère biodégradables ou non," thèse de doctorat, Université de Grenoble. France, 2011.
- [11] C. Baley, *Fibres naturelles de renfort pour matériaux composites: Ed. Techniques Ingénieur*, 2005
- [12] Y. Djebbloun, "Contribution a la caractérisation des matériaux composites renforcés de fibres végétales," thèse de doctorat en Sciences, Université de Biskra, Algérie. 2018



- [13] R. Boubeker, "Etude Expérimentale et Numérique du Comportement des Plaques Trouées en Matériaux Composites," Thèse de Doctorat, Université de Biskra, Algérie, 2016
- [14] ANFA, "Les matériaux composites," Dossir pédagogique, Dossier créé avec la collaboration de Marc Marzano - Action Composite, Pascal Celle - GNFA, 2014.
- [15] Y. Djebloun, M. Hecini, T. Djoudi, and B. Guerira, "Experimental determination of elastic modulus of elasticity and Poisson's coefficient of date palm tree fiber," *Journal of Natural Fibers*, vol. 16, pp. 357-6-367, 2018.
- [16] A. Nourani, A. Kadri, Z. Benguiga M. MehenniI, A. Salem, and K. Ferhat, "Réalisation d'un pollinisateur du palmier dattier," *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, vol. 5, 2017.