

**Université Kasdi Merbah Ouargla**  
**Faculté des Sciences Appliquées**  
**Département de Génie Mécanique**



**Mémoire: MASTER PROFESSIONNEL**

**Domaine : Sciences Techniques**

**Filière : Électromécanique**

**Spécialité : Maintenance Industrielle**

**Présenté par :**

**BOUSBA OTHMANE**

**TOUMI ABDESSALAM**

**Elaboration et évaluation des propriétés  
mécaniques d'un bio composites à base des  
déchets de palmier dattier**

**Soutenue le: 16/06/2021**

**Jury:**

<b>BOUHNAME NACER</b>	<b>Encadreur</b>	<b>UKM Ouargla</b>
<b>BELAKROUM RASSIM</b>	<b>Président</b>	<b>UKM Ouargla</b>
<b>DERGHOUT ZOHIR</b>	<b>Examineur</b>	<b>UKM Ouargla</b>

**Année universitaire : 2021/2020**



# Remerciements

Tout d'abord, je remercie le bon dieu, le clément et miséricordieux qui m'a donnée du courage et la patience pour réaliser ce modeste travail.

J'adresse également mon vif remerciement à:

Mes chère parents pour l'affection et le soutien morale durant mes années d'études et pour l'éducation qu'ils m'ont prodigué ; avec tous les moyens et au prix de tous les sacrifices qu'ils ont consentis à mon égard, pour le sens du devoir qu'ils m'ont enseigné depuis notre enfance.

>>Que dieu nous les gardes.<<

Mon encadreur BOUHAMAME NASSER et

Professeur ABDERREZAK BEZAZI pour ses aides précieux etsacoopération le long de cette période.

Ainsi que toutes personnes ayant de près ou decontribuées à l'élaboration de ce présent mémoire.

Merci

**OTHMANE BOUSBA**

**TOUMI ABDESSALAM**

# Dédicaces

Je dédie ce mémoire

A mes chers parents Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude. Mon père, qui peut-être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie.

A tout ma famille pour l'amour et le respect qu'ils m'ont toujours accordé. Je n'oublierai pas d'associer dans mes remerciements mes collègues, les plus chers, Je leur souhaite tout le succès et tout le bonheur à mes amis et mes camarades Sans oublier tous les professeurs que ce soit du primaire, du moyen, du secondaire jusqu'à l'université.

**Chapitre I Généralité sur matériaux composites et les fibres végétales**

<b>I.1.Introduction .....</b>	<b>5</b>
<b>I.2.Définition .....</b>	<b>5</b>
<b>I.3.Classification des matériaux composites .....</b>	<b>5</b>
<b>I.4. Constitution des matériaux composites .....</b>	<b>7</b>
<b>I.4.1 La matrice.....</b>	<b>7</b>
<b>I 4.1.1 Le rôle de matrice:.....</b>	<b>7</b>
<b>I 4.1.2.Propriétés de la matrice et comment la choisir .....</b>	<b>8</b>
<b>I.4. 1.3 Les divers types de la résine.....</b>	<b>7</b>
<b>I.4. 1.3.1 Les thermoplastiques.....</b>	<b>7</b>
<b>I.4. 1.3. 2 Les thermodurcissables .....</b>	<b>9</b>
<b>I.4.1.3.3. Les élastomères .....</b>	<b>9</b>
<b>I.4.2.Le renfort.....</b>	<b>9</b>
<b>I.5.Classification des fibres naturelles .....</b>	<b>10</b>
<b>I.5.1.Définition .....</b>	<b>11</b>
<b>I.5.2.Fibres végétales .....</b>	<b>11</b>
<b>I.5.2.1.Présentations des différentes fibres végétales .....</b>	<b>12</b>
<b>I.6.Avantages et inconvénients .....</b>	<b>19</b>
<b>I.6.1 .Avantages : .....</b>	<b>19</b>
<b>I.6.2. Inconvénients .....</b>	<b>19</b>
<b>I.7.La composition chimique des fibres végétales .....</b>	<b>20</b>
<b>I.7.1.Cellulose.....</b>	<b>20</b>
<b>I.7.2.Hémicelluloses .....</b>	<b>20</b>
<b>.7.3.Lignine.....</b>	<b>21</b>
<b>I.6 4. Pectine.....</b>	<b>21</b>
<b>I.6.5.Extractibles.....</b>	<b>22</b>
<b>I.7. Architecture des matériaux composites.....</b>	<b>22</b>

<b>I. 7. 1. Les stratifiés :</b> .....	<b>22</b>
<b>I.7. 2. Composites sandwiches</b> .....	<b>23</b>
<b>I.8. Avantage et Inconvénients des matériaux composites</b> .....	<b>25</b>
<b>I.8.1 .Avantage des matériaux composites</b> .....	<b>25</b>
<b>I.8.2.Inconvénients des matériaux composites</b> .....	<b>25</b>
<b>I.9. Mise en œuvre des composite</b> .....	<b>25</b>
<b>I. 9. 1. Moulage au contact</b> .....	<b>25</b>
<b>I.9.2 Moulage par projection</b> .....	<b>26</b>
<b>I.9. 3 Moulage par compression :</b> .....	<b>26</b>
<b>I. 9. 4Moulage sous vide</b> .....	<b>26</b>
<b>I.9.5 Moulage par transfert de résine (RTM- Raison Transfert Mödling)</b> .....	<b>27</b>
<b>I 10 Conclusion</b> .....	<b>28</b>

## **Chapitre II Généralité sur palmier dattier**

<b>II.1.Introduction</b> .....	<b>30</b>
<b>II .2. Description morphologique du palmier dattier</b> .....	<b>30</b>
<b>II.2.1.Les Racines</b> .....	<b>31</b>
<b>II .2.2. Le Tronc</b> .....	<b>32</b>
<b>II .2.3. Fibrilleux</b> .....	<b>32</b>
<b>II.2.4.La Couronne</b> .....	<b>33</b>
<b>II .2.5. La Palme</b> .....	<b>33</b>
<b>II.2.6 Le Pétiole</b> .....	<b>34</b>
<b>II.2.7. Le Rachis</b> .....	<b>34</b>
<b>II .2.8. Les Epines</b> .....	<b>35</b>
<b>II.2.9.Les Folioles</b> .....	<b>35</b>
<b>II.2.10.Les Spathes</b> .....	<b>36</b>
<b>II.2.11.Les Grappes</b> .....	<b>36</b>
<b>II.2.12.Les Pédicelles</b> .....	<b>37</b>
<b>II.3.1 Composition chimique de la palme</b> .....	<b>37</b>

<b>II.3.2 Déchet du palmier dattier.....</b>	<b>38</b>
<b>II.3.3 Domaines d'utilisation des déchets de palmier dattier .....</b>	<b>38</b>
<b>II.5 Conclusion .....</b>	<b>40</b>

**Chapitre III Matériaux et technique Expérimentales**

<b>III. 3. Mise en œuvre du bio composite .....</b>	<b>43</b>
<b>III. 3. 1. Technique de moulage utilisé .....</b>	<b>43</b>
<b>III.3.2. Elaboration des composites .....</b>	<b>43</b>
<b>III. 3.2.1Préparation du renfort.....</b>	<b>43</b>
<b>III.3.2. 2. Préparation de la résine .....</b>	<b>44</b>
<b>III.3.2. 3. L'élaboration sous vide .....</b>	<b>45</b>
<b>III.4. Préparation des éprouvettes .....</b>	<b>46</b>
<b>III.5Analyse des courbes contrainte-déformation de bio composite .....</b>	<b>49</b>
<b>III.5.1Caractérisation en traction du matériau composite.....</b>	<b>50</b>
<b>III.5.2 Caractérisation en flexion du matériau composite.....</b>	<b>53</b>
<b>.III.5 3. Paramètres étudiés .....</b>	<b>58</b>
<b>III.6 Conclusion.....</b>	<b>59</b>

<b>Conclusion générale.....</b>	<b>62</b>
---------------------------------	-----------

## LISTE DE FIGURE

Chapitre I Généralité sur matériaux composites et les fibres végétales
<b>Figure. I.1.</b> Organigramme des différents composites renforcés..... 6
<b>Figure (I.2) :</b> Types des résines thermoplastiques.....9
<b>Figure (I.2) :</b> Types des résines thermoplastiques.....11
<b>Figure. I.8.</b> Cotton.....13
<b>Figure. I.8.</b> Cotton .....13
<b>Figure. I.10</b> Jute..... 14
<b>Figure I.11</b> Coir.....14
<b>Figure 1.12</b> Chanvre.....15
<b>Figure 1.13</b> Banane..... 15
<b>Figure 1.14</b> Laine.....16
<b>Figure I.15.</b> Soie .....16
<b>Figure I.16</b> Sisal.....17
<b>Figure I.17</b> Fibre d'ananas (PINA) .....17
<b>Figure. I.18</b> Herbe de Diss <i>Ampelodesmos mauritanicus</i> .....18
<b>Figure I .19</b> Fibre de palmier dattier.....19
<b>Figure I.20</b> Molécule de la cellulose (n répétitions du motif cellubiose).....20
<b>Figure. I.21.</b> Structure d'un type de xyloglucane.....20
<b>Figure I.22.</b> Exemple générique de la macromolécule lignine..... 21
<b>Figure I.23.</b> (a) Le réseau de pectine, (b) L'interaction de calcium avec la pectine ..... 21
<b>Figure I.24.</b> Exemple de représentation schématique de l'agencement des différents composants des fibres végétales à l'échelle micrométrique.....22
<b>Figure I.25</b> Exemples de stratifiés.....23
<b>Figure I.26</b> Matériau sandwich.....24
<b>Figure I.27</b> Moulage au contact.....25
<b>Figure I.28</b> Méthode de projection simultanée .....26
<b>Figure I.29</b> Méthode de moulage par compression..... 26
<b>Figure I.30:</b> Méthode du moulage sous vide.....27
<b>Figure I.31:</b> Principe du moulage par injection de résine..... 27
Chapitre II Généralité sur palmier dattier
<b>Figure II.1</b> Le palmier dattier.....30
<b>Figure II.3</b> palmier dattier..... 31
<b>Figure II.4</b> Les quatre zones des racines de palmier .....32
<b>Figure II.5</b> Le Fibrilleux et son emplacement dans le palmier .....32
<b>Figure II.6</b> La couronne du palmier.....33
<b>Figure II.7</b> Schéma d'une palme..... 33
<b>Figure II.8</b> Des pétioles secs ..... 34
<b>Figure II.9</b> Le Rachis..... 34



<b>Figure II.10</b> Les Epines..... 35
<b>Figure II.11</b> Les Folioles .....35
<b>Figure II.12</b> Les Spathes..... 36
<b>Figure II.13</b> Les Grappes.....36
<b>Figure II.14</b> Les Pédicelles rejetées après la récolte des dattes.....37
<b>Figure II. 15.</b> Composition chimique des fibres de palmier (% en poids).....37
<b>Figure I.16.</b> Déchets des palmiers dattiers.....38
<b>Figure I. 17.</b> Quelques utilisations traditionnelles des déchets de palmier dattier :a) charpentes de maison, b) panier..... 39
<b>Figure I. 18.</b> Bois MDF à base de palmier dattier.....39
<b>Chapitre III Matériaux et technique Expérimentale</b>
<b>Figure III.1</b> foliole de palmier dattier..... 44
<b>Figure III.2</b> Séchage des folioles de palmier dattier.....45
<b>Figure III.3</b> préparation de plaques stratifiées.....45
<b>Figure III.4</b> Préparation du mélange (résine + durcisseur) .....46
<b>Figure III.5</b> Elaboration des plaques composites folioles de palmier dattier/polyester 47
<b>Figure III.6</b> Tronçonneuse à disque diamanté utilisée pour le découpage des plaques biocomposites..... 47
<b>Figure III.7a</b> Eprouvettes utilisées en traction : Composite stratifié folioles palmier dattier/polyester..... 48
<b>Figure III.7b</b> Eprouvettes utilisées en traction : Composite stratifié jute/polyester.....48
<b>Figure III.8a</b> Eprouvettes utilisées en flexion 3-points : Composite stratifié folioles palmier dattier/polyester.....48
<b>Figure III.8b</b> Eprouvettes utilisées en flexion 3-points :Composite stratifié jute/polyester.....49
<b>Figure III 9:</b> Essai de traction sur le composite de foliole de palmier dattier/polyester .....49
<b>Figure III 10:</b> Essai de traction sur le composite jute/polyester .....49.
<b>Figure III 11:</b> Essai de Flexion sur le composite. de foliole de palmier dattier/polyes.....50
<b>Figure III.12 :</b> Essai de Flexion sur le composite jute/polyester..... 50
<b>Figure III.13</b> Courbe de traction de la contrainte en fonction de déformation des éprouvettes de la bio composite foliole palmier dattier/polyester.....52
<b>Figure III.14</b> Courbe de traction de la contrainte en fonction de déformation des éprouvettes du bio composite jute/polyester avec la vitesse 1mm/min.....52
<b>Figure III.15</b> Courbe de traction de la contrainte en fonction de déformation des éprouvettes du bio composite jute/polyester avec la vitesse 3 mm/min..... 53
<b>Figure III.16</b> Courbe de traction de la contrainte en fonction de déformation des éprouvettes du bio composite jute/polyester avec la vitesse 5 mm/min.....53
<b>Figure III. 17</b> Essai de traction a) éprouvette folioles de palmier dattier/polyester b) éprouvette jute/polyester..... 54
<b>Figure III.18</b> Courbe de flexion de la contrainte en fonction de déformation des éprouvettes du bio composite foliole palmier dattier/polyester.....55

<b>Figure III.19</b> Courbe de flexion de la contrainte en fonction de déformation des éprouvettes du bio composite jute/polyester avec la vitesse 2mm/min.....55
<b>Figure III.20</b> Courbe de flexion de la contrainte en fonction de déformation des éprouvettes du biocomposite jute/polyester avec la vitesse 6mm/min.....56
<b>Figure III.21</b> Courbe de flexion de la contrainte en fonction de déformation des éprouvettes du bio composite jute/polyester avec la vitesse 10mm/min.....56
<b>Figure III. 22</b> Essai de flexion a) éprouvette folioles de palmier dattier/polyester b) éprouvette jute/polyester..... 57

### Les symboles

**CMO:** Les composites à matrices polymère ou organique

**CMC:** Les composites à matrices céramiques

**CMM:** Les composites à matrices métalliques

**TP:** thermoplastiques

**TD .**thermodurcissables

### Liste de tableaux

<b>Tableau (I.1)</b> Les caractéristiques souhaitées de la matrice et ses facteurs de sélection .....8
<b>Tableau (I.2)</b> : Caractéristiques des résines thermodurcissables.....10
<b>Tableau (I.3)</b> . Principales différences entre matrices TP et TD..... 24
<b>Tableau I.8.</b> Les différents types des composites.....24
<b>Tableau III.1</b> Les caractéristiques de la résine polyester..... 43
<b>Le tableau III.2.</b> Récapitule tous les résultats obtenus en traction et en flexion..... 58

### Résumé :

Le but essentiel de notre travail est de valoriser un déchet de palmier dattier et l'incorporation cette ressource d'énergie renouvelable en tant que composant dans les matériaux composites. Pour cela nous avons opté à l'utilisation les fibres de folioles de palmier dattier comme renfort pour l'élaboration d'un matériau composites à matrice polyester. Les essais de traction et de flexion sur les bio composites ont montrés que les propriétés mécaniques des composites jute/polyester sont meilleurs que les composites folioles de palmier dattier/polyester, et l'influence de la vitesse de chargement sur la contrainte ultime pour le jute/polyester.

### ملخص:

ملخص: الهدف الرئيسي من عملنا هو استعادة مخلفات النخيل و دمج مصدر الطاقة المتجددة هذا كعنصر في المواد المركبة.

لهذا اخترنا استخدام ألياف و ريقات نخيل التمر كتعزيز لتطوير مادة مركبة و مصفوفة بوليستر.

أظهرت اختبارات الشد و الانحناء على المركبات الحيوية أن الخواص الميكانيكية لمركبات الجوت / البوليستر أفضل من مركبات نشرة نخيل التمر / البوليستر، و تأثير سرعة التحميل على الإجهاد النهائي للجوت / البوليستر.



# **Introduction générale**

### Introduction générale

Le déchet des palmiers dattiers est une biomasse inépuisable disponible en Algérie et partout dans le monde où le palmier peut être cultivé. C'est une source organique naturelle qui peut être valorisée, d'autant plus que les autres ressources renouvelables ne sont exploitées qu'en partie dans le pays. Depuis Ces dix dernières années et même bien avant, le secteur des palmiers dattiers a connu une progression significative grâce à l'application du programme national de développement Agricole PNDA. Actuellement l'Algérie dispose d'un potentiel énorme de palmiers dattiers, on compte plus de 18 millions de palmiers dattiers soit plus de 18% du patrimoine phoénicicole mondiale selon les dernières statistiques de Ministère de l'Agriculture (DSASI). Ce potentiel peut générer une quantité énorme et croissante de déchet lors de la récolte des dattes et de l'entretien annuelle des palmiers [1]

L'importance de cette biomasse organique réside dans son abondance et son faible coût. Cependant, l'exploitation de ces potentiels agricoles en vue d'une valorisation pour des raisons économiques et écologique n'a pas bénéficié d'un grand intérêt à part dans quelques domaines. Notre travail est d'utiliser les folioles de palmier dattier comme renfort pour un bio composite qui sont considérées comme déchet agricole, et pour ajouter de la valeur à la fibre de palmier dattier qui est une source renouvelable locale peut être appliquée dans plusieurs domaines industriels. Cemémoire est divisé en trois chapitres :

**Le premier chapitre** est réservé aux informations générales sur les matériaux Composés, leurs éléments constitutifs, et généralités sur les fibres végétales et les différends.

**Chapitre deux** est consacré aux généralités sur le palmier dattier

**Le dernier chapitre** est consacré à la description du matériel utilisé, à savoir l'élaboration du matériau composite, Les essais mécaniques de traction et de flexion 3-points sont présentés et discutés dans ce chapitre. Cette étude se termine par une conclusion générale qui résume Les principaux résultats obtenus.

A decorative border resembling a scroll, with a vertical strip on the left and rounded corners on the right, framing the text.

# **Chapitre I**

**Généralité sur matériaux composites  
et les fibres végétales**

## I.1.Introduction

Dans un sens large, le mot "composite" signifie matériau constitué de deux ou plusieurs parties différentes, Depuis l'Antiquité, l'homme a élaboré des matériaux composites par combinaison de matières de natures différentes dans le but d'obtenir des matériaux aux propriétés spécifiques. De nombreux matériaux naturels lui ont fourni des modèles, tel que l'os rigide mais léger, formé de fibres de collagène dans une matrice minérale d'apatite dure et fragile, ou le bois, souple mais résistant formée d'un réseau de micro fibrille de cellulose cimentée dans une matrice d'hémicellulose et lignine [2]. La famille des matériaux composites à fibres, apparue dans les années 1940 n'a cessé de se développer en raison de leurs propriétés mécaniques associées souvent à une faible densité. Leur bon rapport coût/performance leur a ouvert une très large gamme d'application dans des domaines variés ; l'industrie aérospatiale, automobile, maritime, ferroviaire, le bâtiment, l'ameublement, la décoration etc. [3]. Toutefois, même si le développement des composites est qualifié de prometteur cette progression est néanmoins jalonné de quelque contrainte à surmonter dont par exemple celles liées à l'environnement, l'hygiène et la sécurité. La valorisation des matériaux composites classiques avec leur armature en fibres de verre, d'aramide, ou bien de carbone pose un grand problème à leur fin de vie. Pour y palier les fibres naturelles sont mises.

## I.2.Définition

Un matériau composite est constitué de l'assemblage de plusieurs matériaux non miscibles de natures différentes, et dont les qualités complémentaires permettent des performances supérieures à celles de chacun de ses composants. Un matériau composite est alors un matériau généralement formé de deux composés principaux

- ✓ La matrice, qui assure la liaison de l'ensemble, répartit les efforts.
- ✓ Le renfort, qui constitue l'ossature de la pièce, et supporte l'essentiel des contraintes [4].

## I.3.Classification des matériaux composites

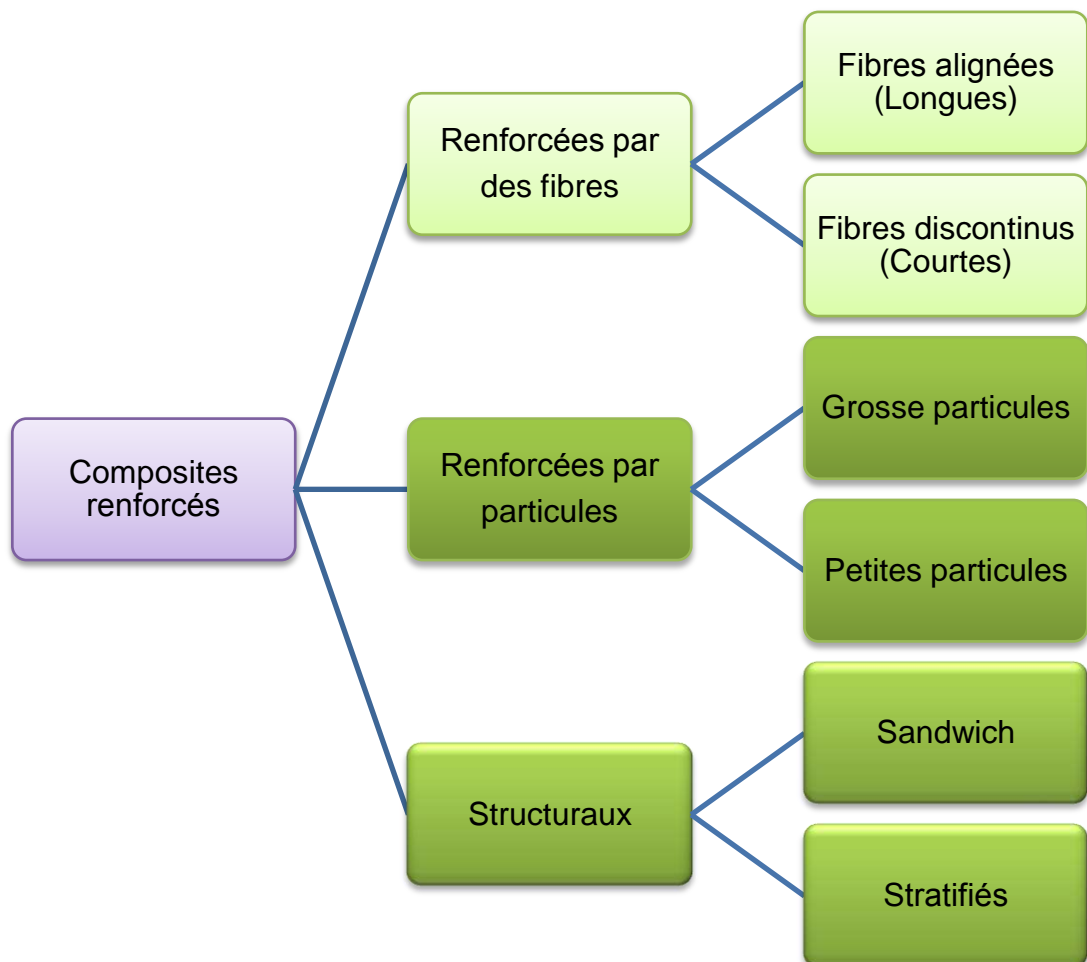
Il existe aujourd'hui un grand nombre de matériaux composites que l'on classe généralement trois familles en fonction de la nature de la matrice [5]

- ✓ **Les composites à matrices polymère ou organique (CMO)** ; telles que les polymères organiques (résine thermodurcissable ou thermoplastique) [5] ; qui constituent, de loin, les volumes les plus importants aujourd'hui à l'échelle industrielle [4].

## Chapitre I:Généralité sur matériaux composites et les fibres végétales

- ✓ **Les composites à matrices céramiques (CMC)**, réservés aux applications de très haut e technicité et travaillant à haute température comme dans les domaines spatial, nucléaire et militaire, ainsi que le freinage.
- ✓ **Les composites à matrices métalliques (CMM)**, Ces matériaux peuvent aussi être classés selon la nature du renfort [6].

Les composites trouvent leurs principales applications dans le transport aérien, maritime, ferroviaire, le bâtiment, l'aérospatial ainsi que les sports et loisirs, notamment grâce à leur bonne tenue mécanique comparable aux matériaux homogènes, plus résistants que l'acier et plus légers que l'aluminium. Les composites sont souvent désignés selon le type de renfort. Ainsi, il existe des particules, des composites sandwichs, des composites à phases dispersées ou encore des composites fibreux (Figure. I.1)[5]



**Figure. I.1.** Organigramme des différents composites renforcés



Les propriétés des matériaux composites dépendent [7]

- des propriétés des matériaux constitutifs.
- de distribution géométrique des fibres.
- de l'interaction fibre-matrice.

Pour accéder à la caractérisation d'un matériau composite, il sera nécessaire de spécifier [7]

- La nature de l'interface matrice- renfort.
- La nature des constituants et leurs propriétés.
- La géométrie du renfort et sa distribution.

### **I.4. Constitution des matériaux composites**

#### **I.4.1 La matrice**

Dans un matériau composite, le terme matrice désigne la matière solide qui entoure les renforts pour compacte et de donner la forme voulue au produit final. Elle sert également à protéger les fibres contre l'abrasion et un environnement agressif, contrôler le fini de surface et assurer le transfert de charges entre les fibres. Le solide formant la matrice peut être d'origine métallique, céramique ou polymère.

##### **I 4.1.1 Le rôle de matrice:**

La fonction du polymère est très importante, où les fibres peuvent mieux fonctionner ensemble, parce que le polymère transfère les charges des fibres aux autres par la contrainte de cisaillement. Ainsi, une répartition des charges uniformément entre les fibres afin que toutes les fibres soient soumises à la même charge dans un composite du faisceau des fibres sèches. Lorsqu'un filament se casse, la charge répartie sur les autres filaments

La matrice combine les particules individuelles de renforcement, et les protège contre les agressions extérieures, améliore la résistance de la rupture d'un composant et donnent la forme du matériau, pour la matrice, est nécessite une bonne force de liaison avec le matériau de la phase de renforcement (c'est-à-dire une mouillabilité parfaite sans interaction chimique à l'interface de la matrice et du renforcement)[8].

# Chapitre I:Généralité sur matériaux composites et les fibres végétales

## I4.1.2.Propriétés de la matrice et comment la choisir

Les besoins ou les propriétés souhaitées de la matrice sont importants pour une structure composite et sa sélectionner basé sur des plusieurs facteurs doivent être pris en compte. On peut illustrer ça dans le tableau (I.1)

**Tableau (I.1)** Les caractéristiques souhaitées de la matrice et ses facteurs de sélection [9,10].

Les facteurs de sélection de la matrice	Les propriétés de matrice
<p>La matrice doit avoir un résistance mécanique proportionnelle à celle du renforcement, c'est-à-dire que les deux doivent être compatibles. Ainsi, si les fibres utilisées comme renforcement à haute résistance, il ne sert à rien une matrice à faible résistance, qui ne transmettra pas efficacement les contraintes au renfort.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• La matrice doit résister aux conditions de service, à savoir température, humidité, exposition à un environnement ultraviolet, exposition à une atmosphère chimique, abrasion par des particules de poussière, etc.</li><li>• La matrice doit être facile utiliser dans le processus de fabrication sélectionné.</li><li>• Exigences de fumée.</li><li>• Espérance de vie.</li><li>• Le composite résultant devrait être rentable.</li><li>• Les fibres sont saturées avec une résine liquide avant qu'elle ne durcisse en un solide.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Absorption d'humidité réduite. Faible retrait.</li><li>• Faible coefficient de dilatation thermique.</li><li>• Bonnes caractéristiques d'écoulement, de sorte qu'il pénètre complètement dans les faisceaux de fibres et élimine les vides pendant le processus de compactage durcissement.</li><li>• Résistance, module et allongement raisonnables (l'allongement doit être supérieur à celui des fibres).</li><li>• Doit être élastique pour transférer la charge sur les fibres.</li><li>• Excellente résistance chimique (selon l'application).</li><li>• Doit être facilement transformable dans la forme finale du composite.</li><li>• Stabilité dimensionnelle (conserve sa forme).</li></ul>

## I4. 1.3 Les divers types de la résine

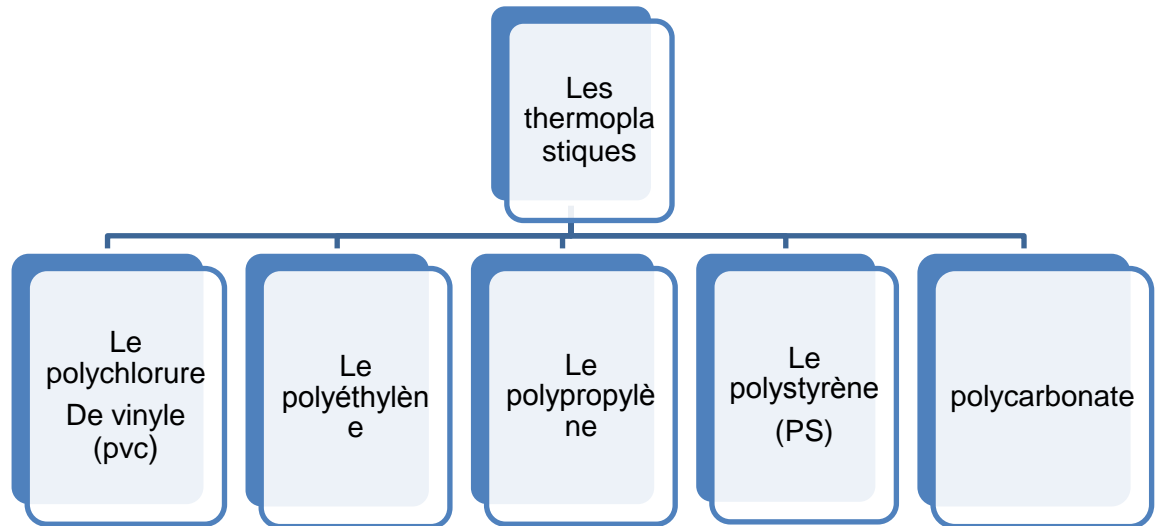
Deux grandes familles de résines polymères existent sont:

### I4. 1.3.1 Les thermoplastiques

Les résines thermoplastiques, dont la fabrication atteint de loin le plus gros tonnage du fait d'un faible coût, sont les polymères qui fondent en chauffant et retrouvent leur forme solide en refroidissant de façon réversible, cela les rend recyclables, solubles, et renouvelables

## Chapitre I:Généralité sur matériaux composites et les fibres végétales

un grand nombre de fois, Aussi bien non biodégradables et ont des propriétés mécaniques faibles. On peut citer quelques exemples de ces résines dans la figure (I.2).



**Figure (I.2) :** Types des résines thermoplastiques [12].

Les thermoplastiques ne conviennent généralement pas au renforcement des fibres en raison de leur viscosité élevée à l'état liquide, qui liée à l'état moléculaire. Cela les empêche de mouiller les fibres adéquatement (imprégnation), ainsi un bon composite ne peut pas être formé. En outre, la production de matériaux composites utilisant des thermoplastiques nécessite une pression et une température élevées [8].

### I.4. 1.3. 2 Les thermodurcissables

Ce sont les résines qui sont à l'état de base sous forme liquide de très faible viscosité contenant des monomères (molécules simples) qui se transforment en polymères (molécules complexes réticulées) lorsque la résine est durcie. Cette transformation est une réaction chimique unique, traitée à la température ambiante et conduit à un produit fini solide, rigide, infusible et ne fond pas en chauffant, mais finalement se désintégrer [10,11]. Ainsi les résines thermodurcissables possèdent des propriétés mécaniques et surtout thermomécaniques plus élevées que les résines thermoplastiques [11].

Les résines polyesters insaturées (polyesters condensés, vinyles esters, dérivés allyliques, etc.), les résines de condensation (phénoliques, aminoplastes, uraniques, etc.) et les résines

## Chapitre I:Généralité sur matériaux composites et les fibres végétales

époxydes sont les principales résines thermodurcissables utilisées dans la mise en œuvre des matériaux composites [13].Ces caractéristiques sont présentées dans le tableau (I.2).

**Tableau (I.2) :** Caractéristiques des résines thermodurcissables [12].

Résines	$T_f$ ( $^{\circ}C$ )	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	$\epsilon_t$ (%)	$\sigma_t$ (MPa)	$\sigma_c$ (MPa)	E (GPa)
Polyesters	60 à 100	1140	2 à 5	50 à 85	90 à 200	2.8 à 3.6
Phénoliques	120	1200	2,5	40	250	3 à 5
Epoxydes	290	1100 1500	2 à 5	60 à 80	250	3 à 5

Du fait de ces caractéristiques plus élevées et de leur stabilité une fois transformés.les résines thermodurcissables sont jusqu'à présent les plus utilisées dans l'industrie des composites à matrice organique .

Une comparaison entre quelques caractéristiques des résines thermodurcissables TD et celles des résines thermoplastiques TP est présentée dans le tableau I.3 [13].

**Tableau (I.3).** Principales différences entre matrices TP et TD

Matrice	TD	TP
Etat de base	Liquide visqueux a polymérise	Solideprêt a l emploi
Stockage	Réduit	Limité
Mouillabilité des renforts	Aisée	Difficile
Moulage	Chauffage continue	Chauffage+refroidissement
Tenue au choc	Limitée	Assez bonne
Tenue thermique	Meilleure	Réduite(sauf nouveau TP)
Chutes et déchets	Perdus ou utilises en charge	Recyclables
Condition de travail	Emanation de solvants	Propreté
Cycle	Long(polymérisation)	Court

### I.4.1.3.3. Les élastomères

Sont des polymères naturels ou synthétiques dont la structure particulière confère une importante élasticité (jusqu'à 500% d'allongement par rapport à la taille initiale).A titre d'exemple, nous pouvons citer les élastomères suivants les silicones d'élastomères, les polyuréthanes, le néoprène, le latex, etc.[14]

### I.4.2.Le renfort

Les matériaux de renfort confèrent aux composites leurs caractéristiques mécaniques Rigidité, résistance à la rupture, dureté, etc. Ces renforts permettent également d'améliorer

## Chapitre I:Généralité sur matériaux composites et les fibres végétales

Certaines des propriétés physiques comportement thermique, tenue en température, tenue defeu, résistance à l'abrasion, propriétés électriques, etc. les caractéristiques recherchées pour Les renforts sont : des caractéristiques mécaniques élevées, une masse volumique faible, une Bonne compatibilité avec les résines, une bonne facilitée de mise en œuvre, un faible coût, etc. La figure suivante représente différents types de renforts (figure I.2)

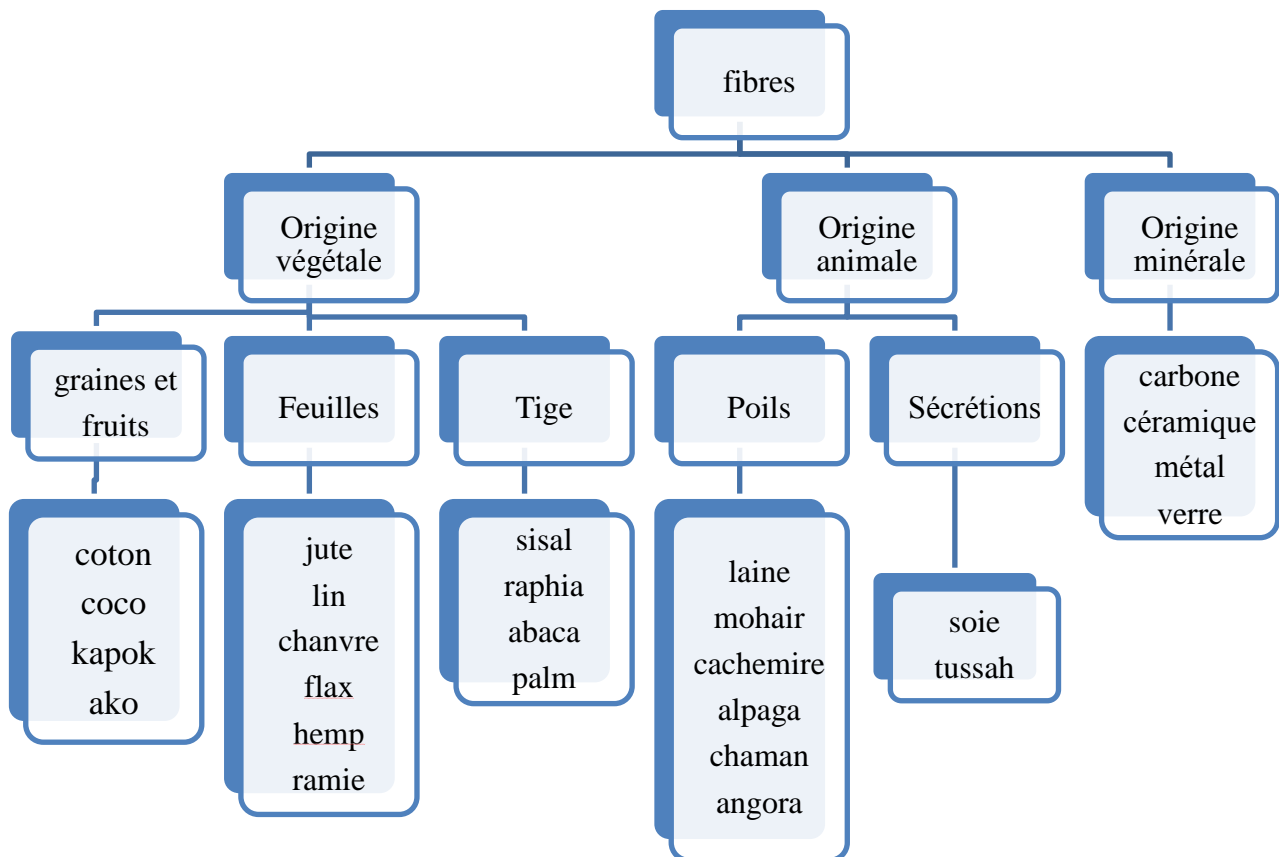


Figure I.3 Les différents types de fibres [15].

### I.5. Classification des fibres naturelles

Les fibres naturelles sont pour la plupart d'origine végétale ; animale et minérale (Figure. I.8).

- ✓ Végétale : extraite de plantes, de fruit et d'arbres comme le coton, le lin, l'agave,
- ✓ Le jute, le chanvre, etc.
- ✓ Animale : extraites de poil d'animaux comme le mouton, la chèvre, le lama, etc.
- ✓ Minérale : on trouve dans la nature des minéraux dont la texture fibreuse. il s'agit

D'une matière toxique, comme l'amiante [16]

### **I.5.1.Définition**

Les fibres naturelles sont des substances filamenteuses issues de végétaux et d'animaux, susceptibles d'être filées pour fabriquer des fils et des cordes. Elles sont tissées, tricotées ou tressées pour confectionner des textiles indispensables à la société [16].

### **I.5.2.Fibres végétales**

Les fibres végétales proviennent de différentes sources ; elles sont issues de déchets de bois, de déchets de palmiers, de résidus agricoles et de différentes parties des plantes à fibre : de tiges (kana, jute, lin, ramie, etc.), de feuilles (sisal, abaca, paille de graminées, etc.), de fruits (noix de coco) et de graines (coton, kapok, etc.).

L'utilisation des fibres végétales comme renfort remonte à la période des briques renforcées par les pailles, Actuellement les fibres végétales sont en train de pénétrer le secteur industrielle pour fabriquer des composites plus performés et moins couteux grâce aux avantages présentés par ces fibres naturelles par rapport aux fibres traditionnellement utilisées dans les composites, parmi ces avantages on trouve la faible densité, le faible coût, la capacité acoustique, la faible conductivité thermique, les bonnes propriétés mécaniques spécifiques et surtout la disponibilité et le renouvellement. Il existe toutefois quelques inconvénients de renforcer avec les fibres naturelles ; en plus de leur capacité d'absorption d'eau et leur faible résistance au feu (200-230°C). L'inconvénient majeur des fibres végétales est leur faible stabilité dimensionnelle due principalement à leur caractère hydrophile. La biodégradabilité des fibres est un avantage mais également un inconvénient. C'est un avantage du point de vue de la, mais lorsque ces fibres sont introduites dans des matrices, elles peuvent être dégradées à long terme par les micro-organismes présents dans le milieu ou par la basicité de ce dernier [17].

#### **I.5.2.1.Présentations des différentes fibres végétales**

##### **a) Coton**

- ✓ Fibre cellulosique
- ✓ À partir de «capsules» (gousses de graines) poussant sur des buissons
- ✓ Le coton «respectueux de l'environnement» peut être cultivé dans une gamme de couleurs
- ✓ Principaux produits textiles de Chine, Inde, Iran, Pakistan et Egypte.
- ✓ Fabriqué dans une large gamme de vêtements.



**Figure.1.8.** Cotton.

### **b) Lin (en anglais Flax)**

- ✓ Lin est le nom de la fibre ; le lin est le nom du tissu.
- ✓ La plus ancienne fibre textile au monde remonte à l'âge de pierre de 5 000 ans.
- ✓ Fibre cellulosique de tige de plante de lin.
- ✓ Les serviettes, les draps et les nappes sont appelés «linge de maison».



**Figure. 1.9**Lin (flax)

### **c) Jute**

Le jute est une fibre végétale longue et brillante qui peut être filée en fils grossiers et solides.

Les fibres sont blanc cassé à brun et mesurent 1 à 4 mètres (3 à 12 pieds) de long. Le Bangladesh est le premier exportateur de jute. Le jute est cultivé dans la même zone d'eau terrestre que le riz et est une culture très difficile croître et récolter.

## Chapitre I: Généralité sur matériaux composites et les fibres végétales

Les autres pays importants exportateurs de jute sont l'Inde, la Chine, la Birmanie (Myanmar),

Le Pakistan, le Népal et Thaïlande.



**Figure. I.10** Jute

### d) Coir

- ✓ Est une fibre naturelle extraite de la cosse de noix de coco
- ✓ Produits tels que tapis de sol, paillasons, brosses, matelas, etc.
- ✓ Techniquement, le coco est le matériau fibreux trouvé entre la coque interne dure et la couche externe d'une noix de coco.
- ✓ Le coco brun (fabriqué à partir de noix de coco mûre) est également utilisé dans le rembourrage, l'horticulture.
- ✓ Le coco blanc, récolté à partir de noix de coco non mûres, est utilisé pour fabriquer des pinces plus fins, de la ficelle, de la corde et filets de pêche.



**Figure I.11** Coir



### e) Chanvre

- ✓ La fibre de chanvre a été largement utilisée tout au long de l'histoire. Articles allant de la corde aux tissus en passant par les matériaux industriels étaient fabriqués à partir de fibres de chanvre.
- ✓ Le chanvre était souvent utilisé pour fabriquer des toiles de voile, et le mot toile dérive du cannabis.
- ✓ Aujourd'hui, il existe une modeste industrie du tissu de chanvre et les fibres de chanvre peuvent être utilisées dans les vêtements.
- ✓ Le chanvre pur a une texture similaire au lin.



Figure 1.12 Chanvre

### f) Fibres de Banane

- ✓ Il est utilisé pour fabriquer des articles de fantaisie comme des sacs, des nattes de table, des sacs à main, etc. et leur dernière entreprise est tissage de tissu en fibre de banane.
- ✓ Plante indigène d'Asie du Sud-Est, la banane est maintenant largement cultivée dans tous les pays tropicaux pour fruits, fibres ou feuillage.
- ✓ Ces fibres sont obtenues principalement à partir de la tige.
- ✓ Les fibres obtenues à partir du noyau central sont de moins bonne qualité que les fibres obtenues principalement de pseudo-tige.



Figure 1.13 Banane

### g) Laine

- ✓ Fibres protéinées de mouton ou d'agneau.
- ✓ La laine peignée est de meilleure qualité avec de longues fibres discontinues (plus de 2 pouces) isolant naturel.
- ✓ Le terme laine ne peut s'appliquer qu'à toutes les fibres de poils d'animaux, y compris les poils de cachemire ou d'angora chèvre.

Ainsi que les fibres capillaires spéciales de chameau, d'alpaga, de lama ou de vigogne.



**Figure 1.14** Laine

### h)- Soie

- ✓ Les vers à soie filent des cocons en filaments
- ✓ Le filament est un fil très long, fin et continu
- ✓ Il peut falloir jusqu'à 500 cocons pour créer 1 chemisier.

D'origine naturelle animale, la soie est utilisée depuis 3000 ans. Elle est sécrétée par des chenilles de papillons,



**Figure I.15.** Soie

### i) Sisal

- ✓ Le sisal est une plante vivace qui, contrairement aux autres fibres, n'est pas une culture Saisonnière.
- ✓ Il peut s'établir et se développer facilement dans tous les États de l'Inde, couvrant les zones subhumides à arides et semi-arides régions, qui couvrent la majeure partie de l'Inde.



Figure I.16Sisal

### j) Fibre d'ananas (PINA)

- ✓ La pina est une fibre fabriquée à partir des feuilles d'un ananas et est couramment utilisée aux Philippines
- ✓ Il est parfois associé à de la soie ou du polyester pour créer un tissu textile.
- ✓ Les gens là-bas avaient l'habitude d'extraire les fibres des feuilles d'ananas et de les filer à la main,
- ✓ un tissu doux, transparent et un peu rigide - le tissu pina. C'est royal et exotique.



Figure I.17 Fibre d'ananas (PINA)

### k) Fibre de Diss (*Ampélodesmos mauritanicus*)

La fibre de diss (*Ampélodesmos mauritanicus*) est une herbe vivace. Il existe en abondance à l'état sauvage sur le pourtour du bassin méditerranéen et l'Asie occidentale et au sud-ouest de l'Amérique du Nord. Il est utilisé auparavant dans la réalisation des habitations

## Chapitre I:Généralité sur matériaux composites et les fibres végétales

---

anciennes en raison de ses qualités mécaniques et hydriques et en tant que fibre pour la fabrication de tapis. Cette herbe pousse mieux dans des sols sableux, caillouteux ou argileux qui sont modérément humides. Sa hauteur peut atteindre 3 mètres environ (Figure. I.18). L'utilisation de cette herbe dans les composites permet de préserver les ressources non renouvelables et d'ouvrir de nouveaux marchés.



**Figure. I.18** Herbe de Diss *Ampélodesmos mauritanicus*.

Les fibres de Dis présentent une surface rugueuse, à relief très irrégulier avec la présence d'épines ou de crochets (0.20mm de longueur). A l'intérieur, la fibre est constituée d'un certain nombre de cavités. Le traitement à l'eau bouillie n'affecte pas la structure extérieure de la fibre, puisque les épines restent intactes Les performances varient d'une fibre à une autre et il convient donc de noter que chaque type de fibres, dans ce cas les fibres végétales ou cellulosiques, possèdent des caractéristiques très variables, dues au caractère naturel [18].

### L) Palmier dattier

Le palmier dattier se distingue par une tige très fine (stipe) pouvant atteindre 30 m bien visible Recouvert de gaines (pétioles) de feuilles mortes (paume) et de tissus environnants (feuille) Tronc pour enfoncer les pétioles, Les nageoires en forme de couronne sont collectées en nombre de 20 à 30 dans Maximum. Un groupe de grappes de fruits suspendus sous la couronne À partir de palmiers dispersés. Nous pouvons extraire des fibres de palmiers dattiers comme indiqué dans l'image correspondante



Figure I .19Fibre de palmier dattier.

### I.6.Avantages et inconvénients

#### I.6.1 .Avantages :

- ✓ Faible cout.
- ✓ Propriétés mécaniques spécifiques importants (résistance et rigidité).
- ✓ Biodégradabilité.
- ✓ Non abrasif pour les outillages.
- ✓ Neutre pour l'émission de  $CO_2$ .
- ✓ Demande peu d'énergie pour être produite.
- ✓ Pas de résidus après incinération.
- ✓ Pas d'irritation cutanée lors de la manipulation des fibres.
- ✓ Bonne isolation thermique et acoustique.
- ✓ Ressource renouvelable.

#### I.6.2. Inconvénients

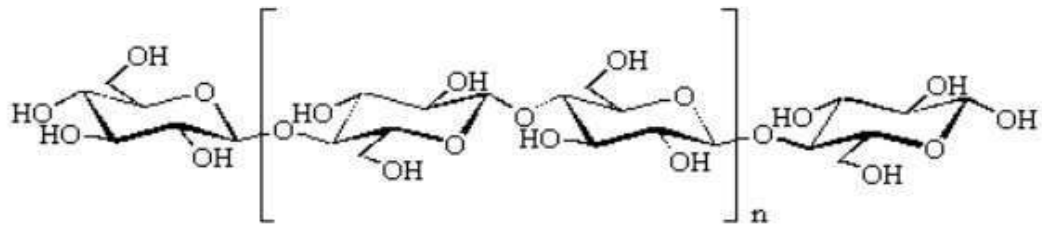
- ✓ Absorption d'eau.
- ✓ Faible stabilité dimensionnelle.
- ✓ Faible tenu thermique (20 à 30°C max).
- ✓ Fibres anisotropes.
- ✓ Variation de qualité en fonction du lieu de croissance, de la météo.
- ✓ Pour des applications industrielles demande la gestion d'un stock.

### I.7. La composition chimique des fibres végétales

Les fibres végétales sont des fibres lino-cellulosiques composées de cellulose, d'hémicelluloses et de lignine, et en proportions relativement faibles d'extractibles non azotés, de matière protéique brute, de lipide et de matière minérale. Les proportions de ces différents constituants dépendent énormément de l'espèce, de l'âge et des organes de la plante [19].

#### I.7.1. Cellulose

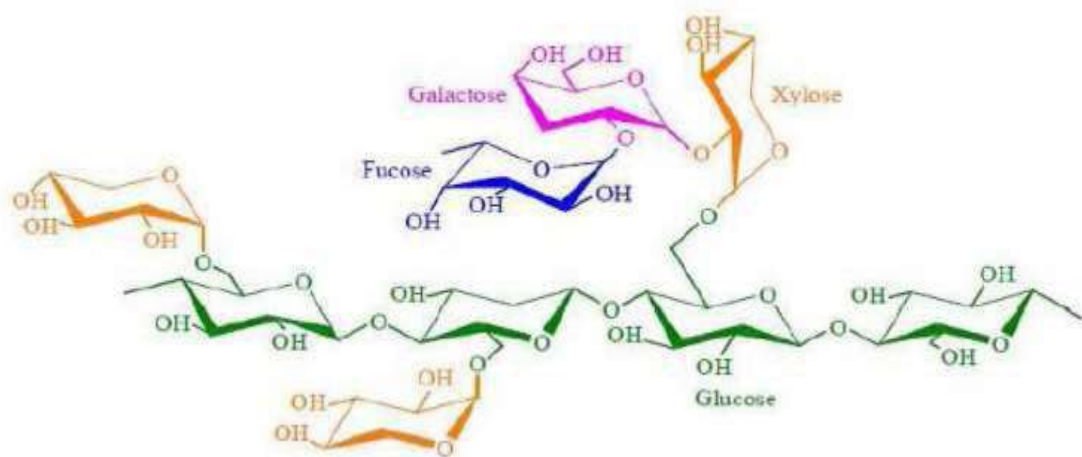
La cellulose est le principal composant dans la quasi-totalité des fibres végétales et représente la matière la plus abondante sur la surface de la terre (plus de 50% de la biomasse). C'est un polymère naturel du premier plan. Généralement, les fibres végétales sont constituées par une chaîne des fibres en cellulose



**Figure I.20** Molécule de la cellulose (n répétitions du motif cellubiose) [19]

#### I.7.2. Hémicelluloses

Les hémicelluloses représentent le 3<sup>ème</sup> composant principal juste après la cellulose et la lignine, avec une proportion en poids à peu près 25% de la biomasse. L'hémicellulose présente dans toutes les parois de ces fibres. C'est le constituant responsable de l'élasticité des fibres.



**Figure. I.21.** Structure d'un type de xyloglucane [20]

## 7.3. Lignine

La lignine forme avec la cellulose et l'hémicellulose la grande majorité de la biomasse, elle est 2ème après la cellulose en termes d'abondance. Ses principales fonctions sont d'apporter de la rigidité, une imperméabilité à l'eau et une grande résistance à la décomposition (barrière de protection biologique). La lignine constitue la colle qui lie les fibres végétales entre elles ainsi que leurs parois. C'est un polymère tridimensionnel.

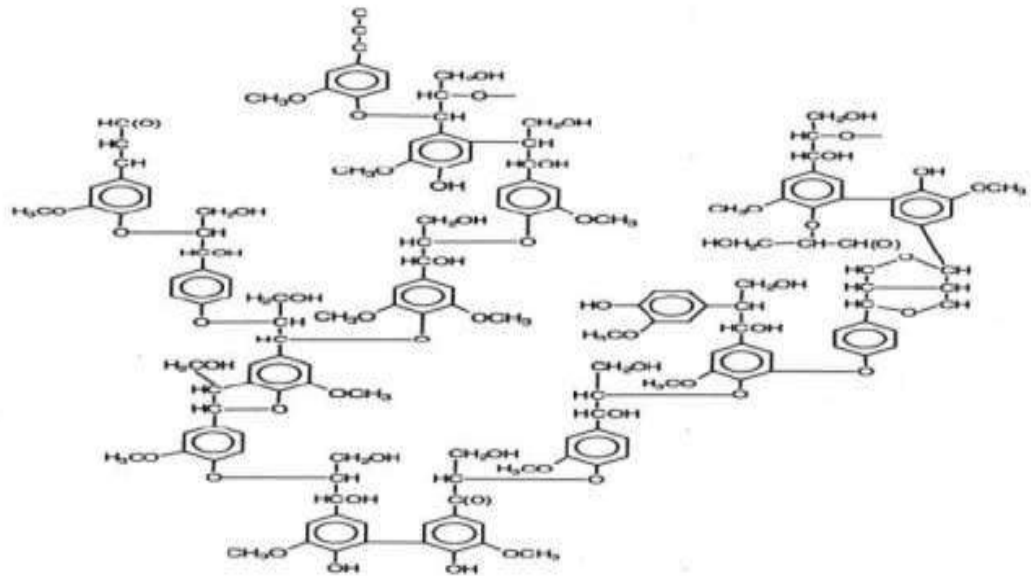


Figure I.22. Exemple générique de la macromolécule lignine[21]

## I.6 4. Pectine

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) [38].

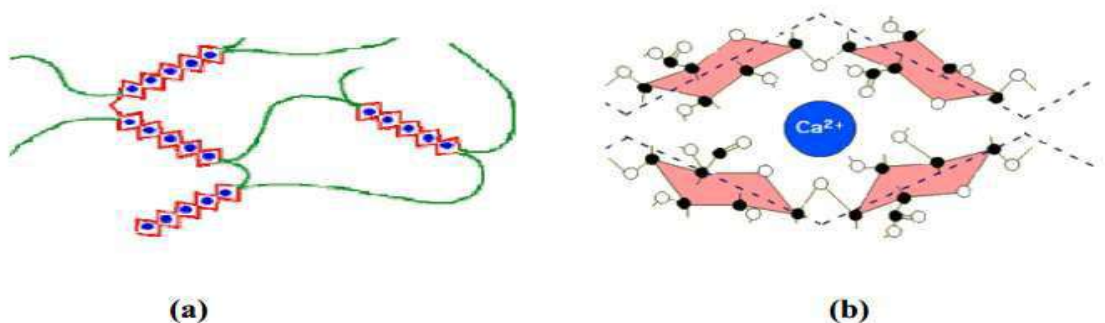
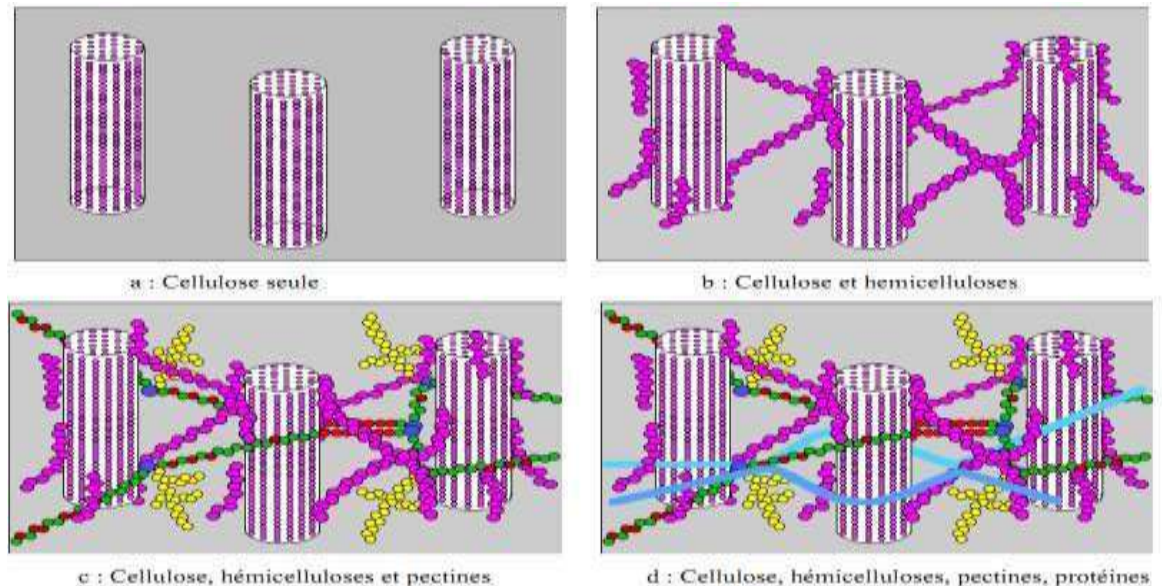


Figure I.23. (a) Le réseau de pectine, (b) L'interaction de calcium avec la pectine[21].

### I.6.5.Extractibles

Ce sont des molécules de faible masse molaire qui remplissent l'intérieur 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



**Figure I.24.** Exemple de représentation schématique de l'agencement des différents composants des fibres végétales à l'échelle micrométrique [23]

### I.7. Architecture des matériaux composites

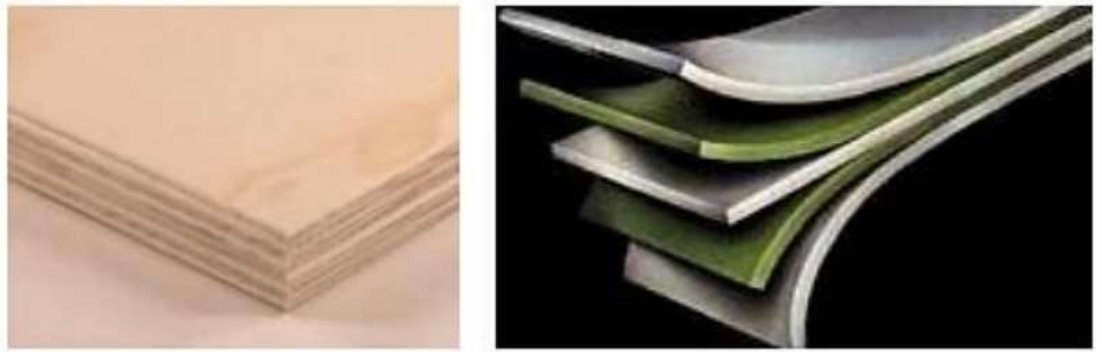
La structure des matériaux composites est très variée. Les renforts peuvent être sous forme de mâts, de fibres courtes, de fibres longues ou de tissés. Les fibres peuvent être disposées en uni-direction, multi-directions ou aléatoire.

Pour les structures plus complexes, les composites sont composés de plusieurs couches différentes.

#### I. 7. 1. Les stratifiés :

Les stratifiés sont constitués de couches composites successives appelées plis. Ces plis composites peuvent être de même renfort et orientés dans des directions différentes, ou de renforts différents dans le cas d'un stratifié hybride





**Figure I.25**Exemples de stratifiés[24]

En général, le renfort de chaque pli du stratifié se caractérise par sa nature (carbone, lin, verre, etc.) et sa présentation (fils, mat, tissu). Les architectures de stratifiés en termes de disposition des couches sont aussi très variées (orientation des renforts, empilement symétrique ou antisymétrique, répétition de séquence, etc.).

Le choix de renfort et d'architecture du stratifié dépendra donc de l'utilisation du matériau composite en l'adaptant au mieux au champ des contraintes imposé [24]

- ✓ Les couches unidirectionnelles ont de bonnes performances mécaniques dans la direction des fibres.
- ✓ Les mats sont peu résistants en traction et devront être réservés aux zones comprimées.
- ✓ Une stratification croisée sera sensible au délaminage inter laminaire.
- ✓ Une stratification avec moins trois directions de fibres sera nécessaire pour avoir un pseudo - isotropie dans le plan du stratifié. Les stratifiés hybrides permettent d'avoir de meilleures performances en utilisant au mieux les propriétés des diverses fibres disponibles.

### **I.7. 2. Composites sandwichs**

Le principe du technique sandwich consiste à appliquer sur une âme (constituée d'un matériau ou d'une structure légère possédant de bonnes propriétés en compression) deux peaux (possédant de bonnes caractéristiques en traction). L'objectif d'un tel procédé est de constituer une structure permettant de concilier légèreté et rigidité. Il faut que l'épaisseur de l'âme soit très élevée par rapport à celle des peaux.

Généralement, le choix de matériaux est fait afin d'avoir une masse minimale en tenant compte ensuite des conditions d'utilisation (conditions thermiques, corrosion, prix, etc.).

Les types d'âmes sont : âmes pleines (en bois cellulaire, diverses mousses cellulaires, mousses syntactiques, etc.) Âmes creuses (alliages métalliques légers, papier kraft, papier

## Chapitre I:Généralité sur matériaux composites et les fibres végétales

polyamide, etc.), âmes mixtes. Les peaux sont le plus souvent des stratifiés (verre, carbone, kevlar, etc.) ou des feuilles en alliages légers [25].



Figure I.26 Matériau sandwich.

Quelques exemples des matériaux composites sont donnés par le tableau 1.8

Tableau1.8. Les différents types des composites [26].

Type de matrice	Constituants	Domaines d'application
1. Composites à matrice organique ✓ Papier, carton ✓ Panneaux de particules ✓ Panneaux de fibres ✓ Toiles enduites ✓ Matériaux d'étanchéité ✓ Pneumatiques ✓ Stratifiés ✓ Plastiques renforcés	Résine/charges/fibres Cellulosiques Résine/copeaux de bois Résine/fibres de bois Résines souples/tissus Elastomères/bitume/textiles Caoutchouc/toile/acier Résine/charges/fibres de verre, de carbone, etc. Résines/microsphères	Imprimerie, emballage, Menuiserie Bâtiment Sports, bâtiment Toiture, terrasse, etc. Automobile Domaines multiples
2. Composites à matrice minérale ✓ Béton ✓ Composite carbone-carbone ✓ Composite Céramique	Ciment/sable/granulats Carbone/fibres de carbone Céramique/fibres Céramiques	Génie civil Aviation, espace, sports, biomédecine, etc. Pièces thermomécaniques
3. Composites à matrice Métallique	Aluminium/fibres de bore Aluminium/fibres de Carbone	Espace
4. Sandwiches Peaux Ames	Métaux, stratifiés, etc. Mousses, nids d'abeilles, balsa, plastiques renforcés, etc.	Domaines multiples

### I.8. Avantage et Inconvénients des matériaux composites

#### I.8.1 .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 [27]

#### I.8.2.Inconvénients des matériaux composites

- ✓ Mauvaise isolation acoustique (n'amortissent pas).
- ✓ La tenue au feu n'est pas bonne pour certaines catégories d'âmes.
- ✓ Les risques de flambement sont plus élevés que pour les structures classiques [23].

### I.9. Mise en œuvre des composite

Pour la fabrication des composites, il existe plusieurs méthodes. On en présente ici quelques-unes avec leurs principes. Ces méthodes sont généralement faciles à exécuter et demandent un coût d'investissement faible en matériels.

#### I. 9. 1. Moulage au contact

C'est la méthode la plus simple qui demande le moins d'équipements. On utilise des moules en bois vernis, en métal, etc., sur lesquels on dépose successivement : un agent de démoulage, une couche de surface (optionnelle) et des couches successives de renforts imprégnés au rouleau d'une résine polymérisant à l'ambiante.

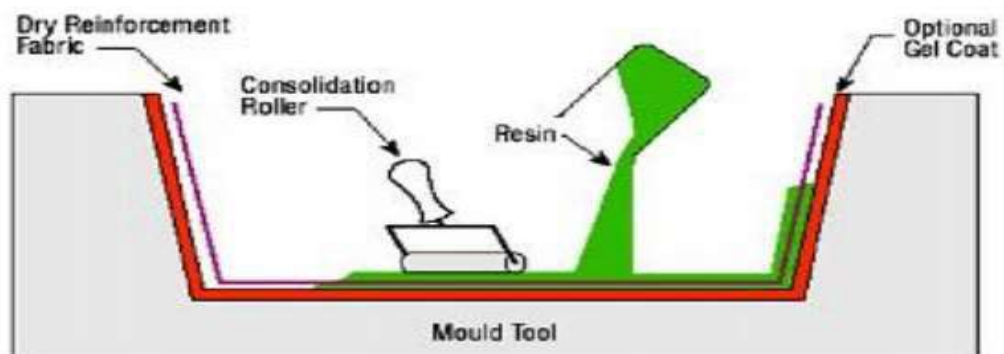


Figure I. 27 Moulage au contact [27]

### I.9.2 Moulage par projection

Dans cette méthode, la résine et les fibres de renfort coupées sont projetées simultanément au moyen d'un pistolet sur une forme.

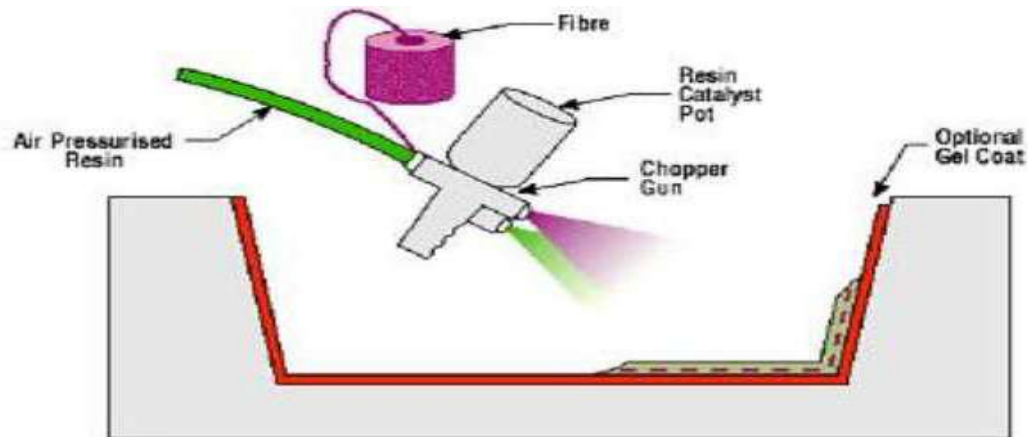


Figure I.28 Méthode de projection simultanée [27]

### I.9.3 Moulage par compression :

Le moulage par compression est l'un des procédés les plus économiques pour la production de grandes séries de pièces de petites et de moyennes dimensions. Dans ce procédé, on place une préforme de compound de moulage (résine, renfort, catalyseur et additifs Déjà pré mélangés dans des proportions optimales) dans la cavité d'un moule chauffé, et ensuite on la presse aux dimensions finales. On utilise des pressions qui vont de 0.5 à 15 MP.

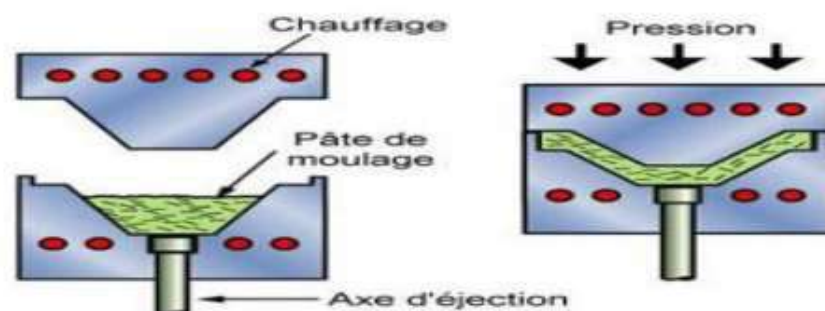


Figure I.29 Méthode de moulage par compression

### I. 9. 4 Moulage sous vide

Les renforts fibreux sont placés à sec sur un film démoulant qui épouse les formes du moule. Une membrane souple joue le rôle de contre-moule et assure l'étanchéité. Le vide créé permet à la résine de se diffuser dans les renforts fibreux et cavités. Cette méthode pourrait être

## Chapitre I: Généralité sur matériaux composites et les fibres végétales

combinée avec un système de chauffage qui servirait à polymériser la résine. Aux conditions ambiantes, la pression qui fait couler la résine est égale à la pression atmosphérique.

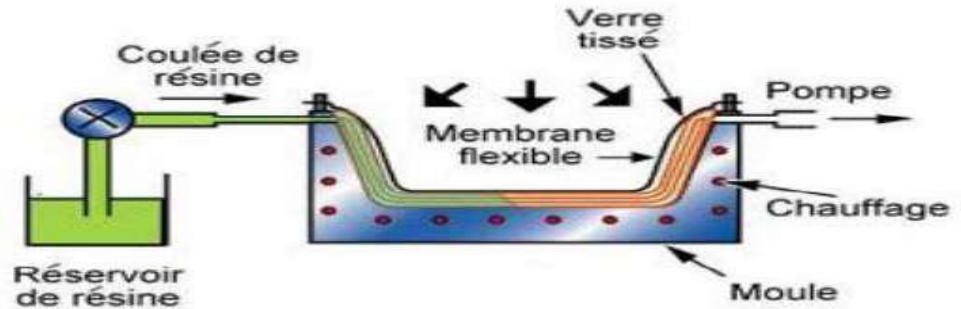


Figure I.30: Méthode du moulage sous vide [28]

### I.9.5 Moulage par transfert de résine (RTM- Raison Transfert Molding)

Le moulage par transfert de résine consiste à imprégner un renfort placé à l'intérieur d'un ensemble moule et contre-moule très rigide et fermé. L'alimentation des résines est réalisée par le vide ou par l'injection de la résine. Cette méthode permet d'atteindre des taux volumiques élevés des fibres, d'où l'obtention de pièces à caractéristiques mécaniques élevées. Ce procédé de moulage convient à la réalisation de pièces profondes formes complexes.

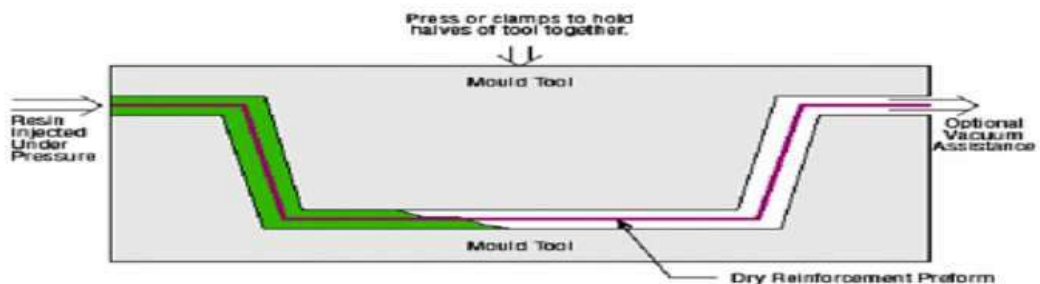


Figure I.31: Principe du moulage par injection de résine [27]

Les différents types de matériaux composites se définissent en fonction de la nature de la matrice qui pourra être de type organique, métallique ou céramique.

Les propriétés mécaniques des matériaux composites sont influencées principalement par l'adhérence entre la matrice et les fibres ; et l'utilisation des renforts pour l'élaboration de matériaux composites impose de bonnes connaissances des propriétés physiques et chimiques de ces matériaux.

## **Chapitre I:Généralité sur matériaux composites et les fibres végétales**

---

Les fibres naturelles présentent de nombreux avantages (faible coût, ressource renouvelable, biodégradabilité, propriétés mécaniques spécifiques importantes (résistance et rigidité)). Comme tous les produits naturels, les propriétés mécaniques et physiques des fibres naturelles varient considérablement. Ces propriétés sont gouvernées par la composition chimique et structurale et dépendent du type de la fibre. La cellulose, le composant principal de toutes les fibres végétales, varie d'une fibre à une autre.

### **I 10 Conclusion**

À travers ce chapitre, nous avons présenté des généralités sur les matériaux composites, puis une classification de ces matériaux, y compris une classification selon la catégorie du renfort utilisée. Nous nous sommes focalisés sur les matériaux composites à base de renforts naturels, dits composites bio-sources, en particulier le renfort végétal extraites de palmier dattier tels que la fibre et le bois. Diverses statistiques sur les palmiers dattiers et leurs déchets ont également été fournies. De plus, nous avons présentés les divers procédés d'extraction de fibres végétales et de fabrication de matériaux composites.

A decorative scroll frame with a black outline and rounded corners. The top-left and top-right corners are rolled up, and the left side is also rolled up, creating a scroll effect. The text is centered within the frame.

## **Chapitre II Généralité sur palmier dattier**

### II.1.Introduction

Le palmier dattier est l'une des ressources renouvelables de notre région (Ouargla), qui produit une grande quantité de feuilles, de frondes, d'arjuna et de tiges.

Dans ce chapitre, nous discuterons du palmier dattier et de toutes ses parties, des déchets annuels des palmiers et de la façon de tirer le meilleur parti de ces déchets.



**Figure II.11**Le palmier dattier

### II .2. Description morphologique du palmier dattier

Le dattier est un grand palmier de 15 à 30 m de haut, au stipe (simili-tronc) cylindrique, portant une couronne de feuilles (les palmes). Les feuilles sont pennées, finement divisées et longues de 4 à 7 mètres.L'espèce est dioïque<sup>2</sup> les fleurs mâles et femelles sont portées par des individus différents. Les inflorescences mâles ou femelles, appelées spadices, sont enveloppées d'une très grande bractée membraneuse, la spathe. Les fleurs femelles ont trois carpelles indépendants, dont un seul se développe pour former la datte. Du fait de la longueur de la phase végétative du palmier, on ne peut connaître le sexe d'un plant qu'après 6 à 8 ans.

Les fruits sont appelés dattes et sont groupés en régimes ce sont des baies, à chair sucrée entourant un « noyau » osseux qui est en fait la graine.





**Figure II.3** palmier dattier

Le palmier dattier est aussi "*date palm*" en anglais, "*Nekhl*" en arabe, et "*Phoenix dactylifera*" L. en latin. Ce végétal est composé en générale d'un tronc unique non ramifié possédant au sommet une couronne de feuilles. En ce qui suit on va identifier les différents types de bois constituant le palmier dattier :

### II.2.1. Les Racines

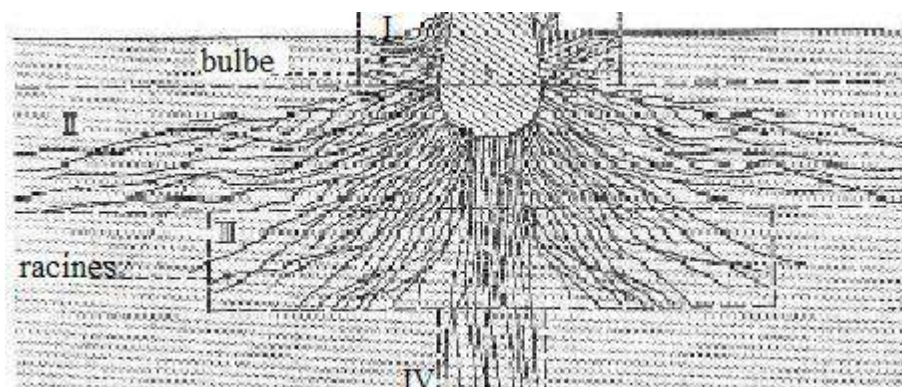
Le système racinaire du palmier dattier est fasciculaire, les racines ne se ramifient pas et n'ont relativement que peu de radicelles. Le bulbe ou plateau racinal est volumineux et émerge en partie au-dessus du niveau du sol. Le système présente quatre zones d'enracinement [28]

**Zone 1** Ce sont les racines respiratoires, localisées à moins de 0,25 m de profondeur qui peuvent émerger sur le sol.

**Zone 2** Ce sont les racines de nutrition, allant de 0,30 à 0,40 m de profondeur.

**Zone 3** Ce sont les racines d'absorption qui peuvent rejoindre le niveau phréatique à une profondeur varie d'un mètre à 1,8 m.

**Zone 4** Ce sont les racines d'absorption de profondeur, elles sont caractérisées par un géotropisme positif très accentué. La profondeur des racines peut atteindre 20 m, (la figure II.4).



**Figure II.4** Les quatre zones des racines de palmier

### II .2.2. Le Tronc

C'est aussi "*the Trunk*" ou "*stem*" en anglais et "*Egide*" en arabe. C'est un stipe généralement cylindrique, de 1 à 30m de hauteur, très garni en life. Son diamètre est de 45 à 55 cm, son élongation s'effectue dans sa partie coronaire par le bourgeon terminal ou phallosphore [28]. Il reste couvert pendant de nombreuses années des bases foliaires des anciennes feuilles desséchées qui finissent par tomber.

### II .2.3. Fibrilleux

" Fibrilleux" la même appellation est utilisée en anglais, on l'appelle aussi fibres de surface de palmier dattier et "*Life*" en arabe. Le Fibrilleux est la gaine de fibres qui entourent le stipe entre les bases des palmes. Il est constitué de la superposition de trois treillis, et a une forme d'une plaque presque rectangulaire de longueur 300-500 mm et de largeur de 200-300 mm. Le rôle écologique des fibres de surface de palmier est de renforcer le tronc et le protéger contre les chocs extérieurs et la chaleur du désert. Pendant l'entretien annuel des palmiers, chaque palmier peut se débarrasser d'environ 3kg de Fibrilleux [29].



**Figure II.5** Le Fibrilleux et son emplacement dans le palmier

## Chapitre II:Généralité sur palmier dattier

---

### II.2.4.La Couronne

L'ensemble des palmes vertes forment la couronne ou la frondaison du palmier dattier. On dénombre de 50 à 200 palmes chez un palmier dattier adulte [30]. Elles sont émises par le bourgeon terminal ou « phallophore », pour cela, on distingue : la couronne basale formée par les palmes âgées, la couronne centrale formée par les palmes adultes et les palmes du cœur qui sont les palmes non ouvertes et les palmes n'ayant pas encore leurs tailles définitives

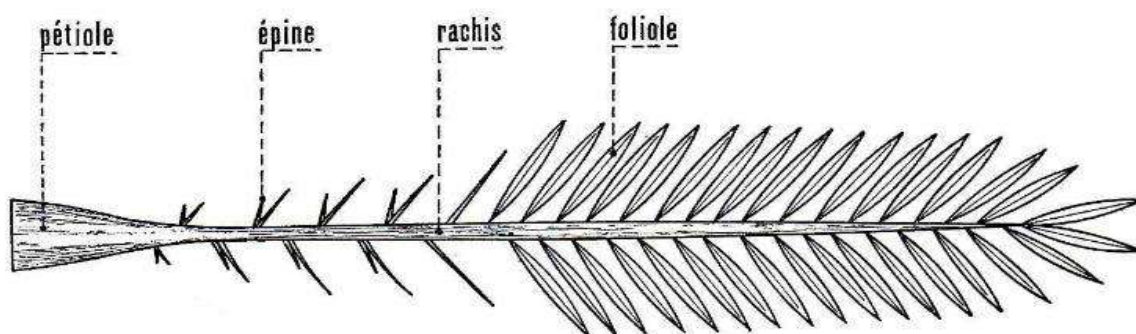


**Figure II.6**La couronne du palmier

### II .2.5. La Palme

La palme ou "*Palm* "en Anglais, "*Djérid*"en Arabe est une feuille pennée garnies des folioles régulièrement disposées en position oblique le long de la partie supérieure du rachis. Les segments inférieurs sont transformés en épines, plus ou moins nombreuses, et plus ou moins longues. Le nombre des palmes varie entre 30 et 150 palmes, disposées en spirale d'une longueur qui atteint 350 à 450 mm. Le palmier produit de 10 à 20 palmes par an selon

Lesvariétés et le mode de culture. Ces dernières vivent et demeurent vertes de 3 à 7 ans avant qu'elles deviennent sèches et inclinées puis elles seraient ôtées par taillage [31].



**Figure II.7**Schéma d'une palme [28]

## Chapitre II: Généralité sur palmier dattier

---

### II.2.6 Le Pétiole

Le pétiole ou "*Petiole*" en Anglais et "*Cornaf*" en Arabe. C'est la partie de la palme enfuie dans le Fibrilleux, il est généralement large, son diamètre longitudinal atteint 30 cm, et sa longueur varie entre 25 et 50 cm selon l'espèce de palmier. Le pétiole contribue avec le Fibrilleux dans le renforcement et la protection du tronc contre l'endommagement causés par les animaux, les chocs extérieurs, et contre le climat difficile [31].



**Figure II.8** Des pétioles secs

### II.2.7. Le Rachis

Le Rachis est "*Rachis*" en Anglais et "*Nasale*" en Arabe. C'est le bois de la partie épineux de la palme, il se situe entre la partie de foliole et la partie de pétiole. C'est un bois dur et dense par rapport au bois des autres deux parties. Il a une forme semi-cylindrique d'un diamètre qui peut atteindre 7 cm et une longueur varié dans les palmes adultes entre 90 et 135 cm.



**Figure II.9** Le Rachis

## Chapitre II: Généralité sur palmier dattier

### II .2.8. Les Epines

Les épines ou "*Thorons*" en Anglais et "*Chouques*" ou encore "*Serbe*" en Arabe. Les épines poussent sur les deux côtés du Rachis pour se déchirer par la suite en folioles, elles occupent d'environ 28% de longueur totale de la palme. La longueur des épines peut atteindre une valeur maximale de 24 cm par contre leur épaisseur ne dépasse pas 1cm. On nombre de 10 à 60 épines dans la palme distribuées individuellement ou dans des groupes de deux ou trois épines [31].



Figure II.10 Les Epines

### II.2.9. Les Folioles

Les Folioles ou "*Leaflets*" en Anglais et "*Saâf*" en Arabe. Les folioles sont les petites feuilles dispersées sur les deux côtés de palme. Elles ont un épiderme recouvert d'un enduit cireux et une forme pointue aux extrémités. L'adhérence avec la palme se fait sous différents angles selon la variété du palmier. La partie occupée par les folioles représente 65% de longueur totale de la palme, elle contient des folioles individuelles et des folioles regroupés en deux, trois, quatre ou en cinq. La longueur des folioles et leur largeur dépendent de la variété du palmier et de l'entretien qu'il a subi et des conditions environnementale. Les folioles peuvent avoir une longueur qui variée entre 15 et 85 cm et sa largeur entre 1 et 6 cm. Par contre le nombre de folioles dans une palme varie entre 120 et 240 selon la taille et la maturité de la palme [31].



Figure II.11 Les Folioles

### II.2.10. Les Spathes

La Spathe ou "*Spathe*" en Anglais et "*Eldjof*" en Arabe. C'est une enveloppe qui recouvre une inflorescence avant son développement et qui se déchire automatiquement pendant la maturation. La spathe est de forme lenticulaire aplatie aux extrémités. Sa surface extérieure est brune, ferme et polie, et celle de l'intérieure est jaune et très lisse. La spathe femelle diffère de la spathe male ; elle est plus longue et plus large que celui du mal. Donc, on trouve des spathes mesurant de 25 à 100 cm de longueur. Généralement, le palmier male "*Dokkar*" produit des spathes plus que le palmier femelle "*Nakhla*", il donne de 10 à 30 spathes par ans par contre la femelle ne donne que 6 à 18 spathes par ans et parfois elle ne donne rien durant l'année [30].

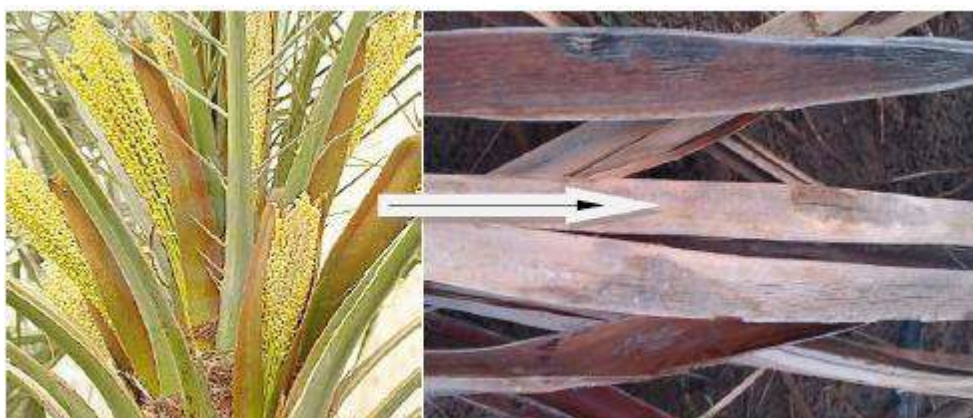


Figure II.12 Les Spathes

### II.2.11. Les Grappes

La Grappe ou le Régime est "*Bunch*" en Anglais et "*Ardjoune*" ou "*Adhak*" en Arabe. Il est constitué par une tige principale qui se ramifie en pédicelles. Sur le même régime, la maturation des fruits est échelonnée. Le palmier émet 6 à 20 grappes mesurant de 25 à 200 cm de longueur et 4 à 8 cm de largeur. Le nombre de fleurs est de 20 à 60 par épillet donnant par la suite 20 à 60 fruits [29,30].

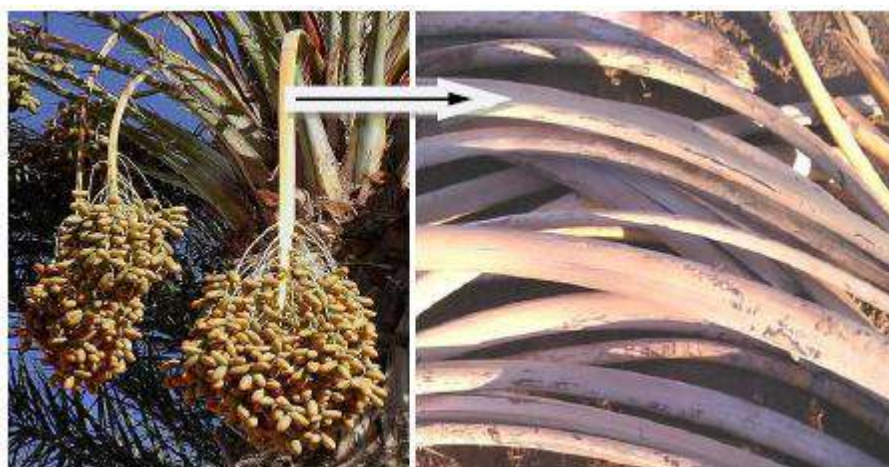


Figure II.13 Les Grappes

## Chapitre II: Généralité sur palmier dattier

### II.2.12. Les Pédicelles

Les Pédicelles sont "*Pedicles*" en Anglais et "*Chamarikh*" en Arabe. Ils sont un ensemble des pédicules provenant du même régime, ils sont constitués de deux parties ; une partie supérieure lisse et droite et une partie inférieure sinueuse sur laquelle les dattes sont alignées. Chaque grappe donne de 20 à 150 pédicelles mesurant de 10 à 100 cm [29,30].



Figure II.14 Les Pédicelles rejetées après la récolte des dattes

### II.3.1 Composition chimique de la palme

Les résultats de la composition chimique des fibres lignocellulosiques issues du Palmier dattier d'après l'étude d'A. Sciai [32] sont résumés dans le graphe de la Figure II.15. Ces résultats représentent des moyennes d'au moins trois essais pour chaque élément.

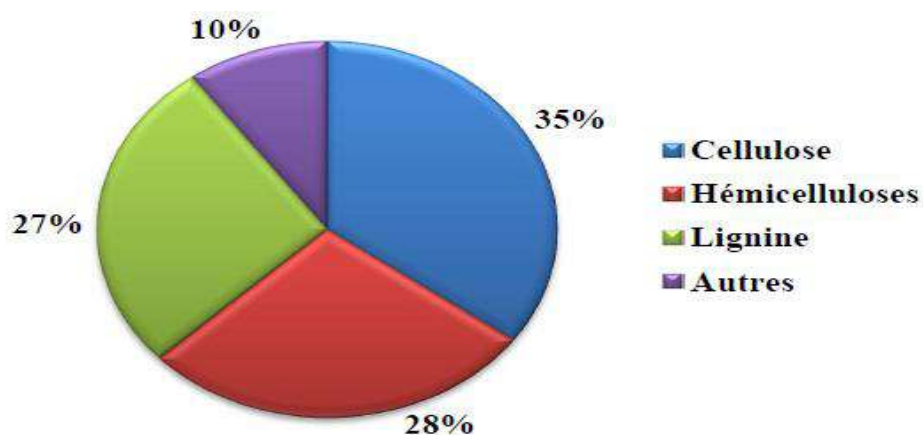


Figure II. 15. Composition chimique des fibres de palmier (% en poids) [33].

### II.3.2 Déchet du palmier dattier

La croissance et l'évolution naturelle d'une palme passent par quatre étapes Successives qui sont définies par les termes palmes jeunes, palmes adultes, palmes mûres et palmes sèches [34]. Un palmier dattier produit chaque année une quantité très importante de bois fibreux et de fibres (Life) sous forme de déchets abandonnés, dans les oasis du désert du Sahara. Ces déchets concernent les sous-produits du palmier dattier (Spadice, Grappe, Palmes sèches, Rebut de dattes, et Life). Chaque année, le palmier dattier produit un certain nombre de palmes à partir de bourgeons et perd un nombre similaire de palmes par dessèchement [31, 35, 36]. Une palme pèse en moyenne 1.4 Kg. Le palmier dattier donne en moyenne 15 palmes par an on dénombre environ 18.4 millions de palmier dattier en Algérie]. On peut estimer le total de palmes séchées à environ 382200 tonnes/an en Algérie [34].

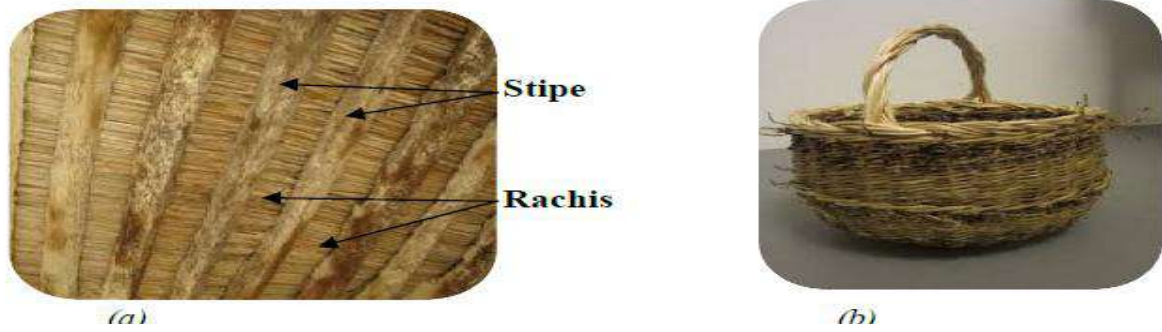


**Figure I.16.** Déchets des palmiers dattiers :

### II.3.3 Domaines d'utilisation des déchets de palmier dattier

Les déchets de la palme constitués de fibres ne sont exploités que d'une manière artisanale pour des applications traditionnelles. On les retrouve par exemple dans l'artisanat (avec la fabrication de chapeaux, paniers et tapis...etc.) mais également dans la construction (charpentes de maison). La Figure I.17 montre certaines applications de ces déchets.





**Figure I. 17.** Quelques utilisations traditionnelles des déchets de palmier dattier :

a) charpentes de maison, b) panier.

Actuellement, le bois fibreux de la palme est utilisé comme une alternative aux déchets de bois classique dans la fabrication des différentes plaques de bois industriel (MDF, HDF, LDF,...) (*Figure I.18*). Cette technique est utilisée par de nombreux fabricants industriels dans le monde [37]. D'autre part, les fibres extraites du bois fibreux de palme attirent l'intérêt des chercheurs pour être utilisées comme renfort dans les matériaux composites [38]. En général, les utilisateurs ont considéré que le bois et les fibres extraites du palmier ont les mêmes propriétés.



**Figure I. 18.** Bois MDF à base de palmier dattier.

### II.5 Conclusion

Dans ce chapitre, le palmier dattier a été identifié, où nous avons mentionné un bref à son sujet en termes d'âge et de longueur. Nous avons également mentionné les différentes parties de celui-ci : les racines, ses parties, la tige, la couronne et les feuilles (frondes), les fruits du palmier, les déchets annuels du palmier et l'énorme quantité qu'il produit à partir de ces déchets. Les différents domaines de son utilisation ont également été évoqués, puisqu'ils entrent dans la fabrication des matériaux composites, dont nous parlerons dans le prochain chapitre.



# **Chapitre III**

**Matériaux et techniques**

**Expérimentales**

### III. 1 Introduction

Plusieurs fibres naturelles ont été proposées comme substituant aux fibres classiques. Nous nous intéresserons dans ce mémoire aux fibres de palmier dattier (*Phoenix L. dactylifera*) qui constitue l'une des richesses végétales les plus abondantes et restent peu exploitées. En effet, les travaux annuels d'entretien des palmiers génèrent des quantités importantes de déchets composés essentiellement de palmes qui peuvent être utilisés comme renfort fibreux dans les composites. Nous tenterons à travers ce travail de valoriser les folioles de palmier dattier qui sont considérées comme déchets agricoles et leurs utilisations comme renfort dans les biomatériaux composites. La technique de sac a été utilisée pour l'élaboration des composites et enfin des essais de traction et de flexion étaient réalisés pour la caractérisation mécanique avec une comparaison à ceux de composite renforcé avec de fibre de jute.

### III. 2 Matériaux utilisés

Les deux constituants principaux utilisés dans notre travail pour l'élaboration des bio composites sont : Résine polyester insaturée comme matrice et les folioles de palmier dattier comme renfort.

#### III 2 1 Résine polyester

Nous avons utilisé de la résine polyester insaturée pour renforcer les fibres de foliole de palmier dattier Les caractéristiques de cette résine sont indiquées dans le tableau III.1.

**Tableau III.1** Les caractéristiques de la résine polyester

Les caractéristiques	
Densité (g/cm <sup>3</sup> )	1,2
Module d'Young (GPa)	2,8-3,5
Résistance à la traction (GPa)	0,05-0,08
La température de Polymérisation (C°)	60-100

#### III. 2 2 Foliole de palmier dattier

La foliole de palmier dattier longue unidirectionnelle qui a été utilisée comme matériau de renfort figure III.1



Figure III.1 foliole de palmier dattier

### III. 3. Mise en œuvre du biocomposite

#### III. 3. 1. Technique de moulage utilisé

Dans ce travail, nous avons choisi la technique du moulage sous vide, le principe de cette Le procédé consiste à fabriquer un panneau composite en résine sous vide à température ambiante. Au cours du moulage, la mise en forme du renfort/matrice placée au-dessus ou à l'intérieur d'un moule est effectuée par l'application d'une pression uniforme à travers une membrane souple tel qu'un sac en caoutchouc.

#### III.3.2. Elaboration des composites

L'élaboration des bio composites ont été réalisés au laboratoire LMANM de l'Université de Guelma en utilisant la technique du moulage en sac. Pour cela, nous avons suivi les étapes suivantes :

##### III.3.2.1Préparation du renfort

Les fibres utilisées dans ce travail sont les folioles récupérées des ulves du palmier dattier (*Phoenix L dactylifera*) d'une variante Elghars(Figure III.1) de la région d'Ouargla située au sud-est de l'Algérie. Cette source d'énergie renouvelable, abondante et disponible reste très malexploitée. Dans certaines région en Afrique dans le désert, les populations utilisent les palmes sèches comme bois combustible (chauffage et autre), des obstacles de brises vent, des clôtures de jardin ou encore dans les toits de leurs maisons. Dans ce travail, les folioles sont récoltées à la main et séparées des rachis, ensuite nettoyées à l'aide d'un chiffon pour enlever les impuretés et éliminer les poussières puis lissées dans un endroit où il y a de l'ombre ensuite séchées dans un étuve pendant quatre heures à une température de 100 °C(Figure III.2).



**Figure III.2** Séchage des folioles de palmier dattier

Les folioles sont découpées par un ciseau pour obtenir des longueurs identique, pour élaborées des plaques stratifiés contenant quatre plies de folioles unidirectionnelle et ayant l'empilement de (0/90/90/0) en forme carré de 330 x 300 mm (figure III.3)



**Figure III.3**préparation de plaques stratifiées

### III.3.2. 2. Préparation de la résine

Une résine polyester a été utilisée a pour principal avantage d'être économique. Elle se travaille sur différents support (bien préparés), et être travaillées en stratification à une température stable entre 15 et 25 °C, et sont généralement traités avec un durcisseur de 1% ceci est un liquide transparent. Les 2 composants (résine + durcisseur) sont bien mélanger pour obtenir un résultat optimalfigure III.4



**Figure III.4** Préparation du mélange (résine + durcisseur)

### III.3.2. 3. L'élaboration sous vide

Cette technique est limitée par la viscosité de la résine et l'initiation de la réticulation (temps de congélation). Ainsi que par la forme et la perméabilité du renfort. Il doit être scellé avec un film plastique. Après avoir préparé le renfort c. à d. les quatre couches de folioles de palmier, deux plaques de verre placées au-dessous et au-dessus de 4 couches. Ces deux plaques de verre sont couvertes par film de nylon. Ce dernier est étanche et ne colle pas à la résine, il peut être considéré comme un agent libérateur. De ce fait, le renfort sec 4 couches s'imprègne à l'arrivée de la résine par coulage de la résine, l'ensemble doit être fermé sous un film plastique (sac) pour les possédants le vide. Une pompe à vide est branchée avec le sac permettant de faire le vide c'est-à-dire d'extraire l'air dans le sac close afin d'en diminuer la pression. La plaque ainsi démoulée après 6 heures (Figure III.5) est laissée à température ambiante pendant 15 jours afin d'avoir une polymérisation complète.





**Figure III.5**Elaboration des plaques composites folioles de palmier dattier/polyester

#### III.4. Préparation des éprouvettes

Les plaques composites sont découpées en éprouvettes de deux type de composites, à l'aide d'une tronçonneuse ayant un disque endiamant(Figure III.6). Les éprouvettes sont ensuite séchées à une température de 70°C dans une étuve pendant une durée de 5 heures pour assurer une polymérisation complète. Les Figures III.7a, III.7b et les figures III.8a, III.8b montre les éprouvettes respectivement de traction et de flexion pour les deux types de composites.



**Figure III.6** Tronçonneuse à disque diamanté utilisée pour le découpage des plaques biocomposites





**Figure III.7a** Eprovettes utilisées en traction : Composite stratifié folioles palmier dattier/polyester



**Figure III.7b** Eprovettes utilisées en traction : Composite stratifié jute/polyester



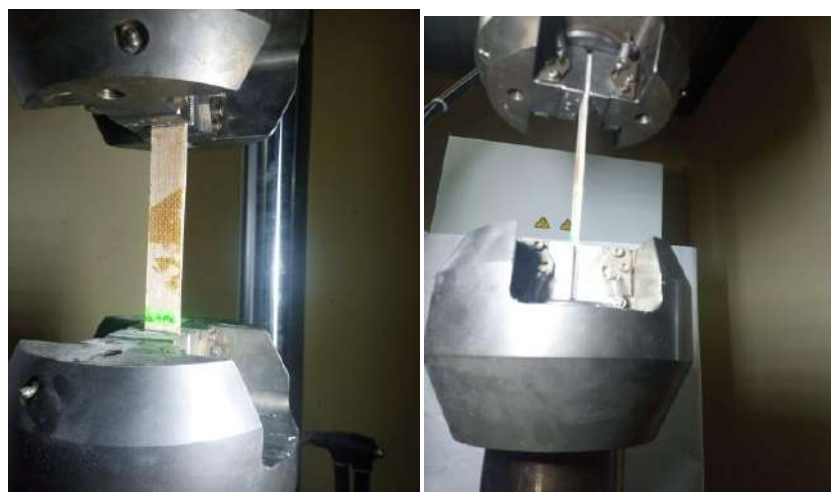
**Figure III.8a** Eprovettes utilisées en flexion 3-points : Composite stratifié folioles palmier dattier/polyester



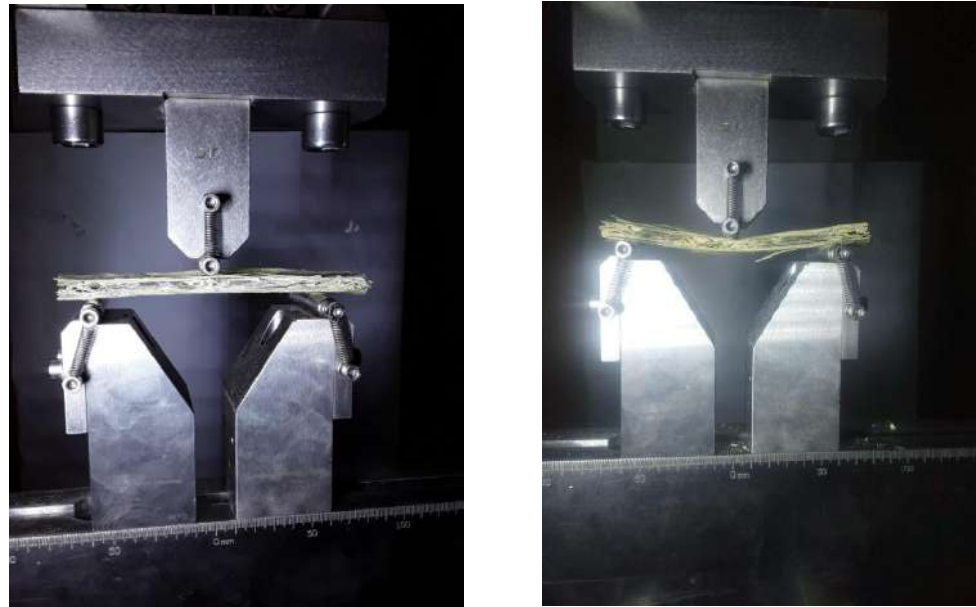
**Figure III.8b** Eprouvettes utilisées en flexion 3-points : Composite stratifié jute/polyester



**Figure III 9:** Essai de traction sur le composite de foliole de palmier dattier/polyester.



**Figure III 10:** Essai de traction sur le composite jute/polyester.



**Figure III 11:** Essai de Flexion sur le composite. de foliole de palmier dattier/polyester.



**Figure III.12 :** Essai de Flexion sur le composite jute/polyester.

### III.5 Analyse des courbes contrainte-déformation de bio composite

L'importance des composites à matrice polymère renforcée de fibres naturelles provient de l'amélioration substantielle de la résistance et du module, qui offre une possibilité d'utilisation de ces composites dans des applications pratiques. Il est bien connu que la résistance à la traction des composites renforcés par des fibres naturelles dépend de la force des deux les constituants et l'adhérence entre le renfort et la matrice. Cette partie vise à déterminer les performances mécaniques des composites folioles palmier dattier/polyester comparé avec jute polyester. La résistance à la traction d'un matériau composite est plus sensible aux propriétés inter-faciales

fibre-matrice, alors que le module dépend des propriétés de la fibre. Dans ce qui suit, les résultats des tests mécaniques, obtenus à la suite des essais de traction et de flexion des bio composites, sont illustrés et discutés.

### **III.5.1 Caractérisation en traction du matériau composite**

Les essais de traction ont été effectués sur deux types d'échantillons, des éprouvettes en bio composite foliole palmier dattier/polyester et en jute/polyester. Pour ce faire, des éprouvettes parallélépipédiques de 250 mm de longueur, 25 mm de largeur ont été découpées, selon la norme ASTM 5083, puis soumises à des tests de traction uni axiale à une vitesse de déplacement de 3 mm/min jusqu'à la rupture pour les bios composites palmiers dattier/polyester et trois vitesses de 1, 3 et 5 mm/min pour composite jute/polyester.

Les résultats des tests statiques des deux matériaux testés sont représentés par les figures suivantes. Ces Figures illustrent les évolutions typiques de la contrainte en fonction de la déformation des éprouvettes de bio composite foliole palmier dattier/polyester et jute/polyester sollicitées en traction statique avec différents vitesses.

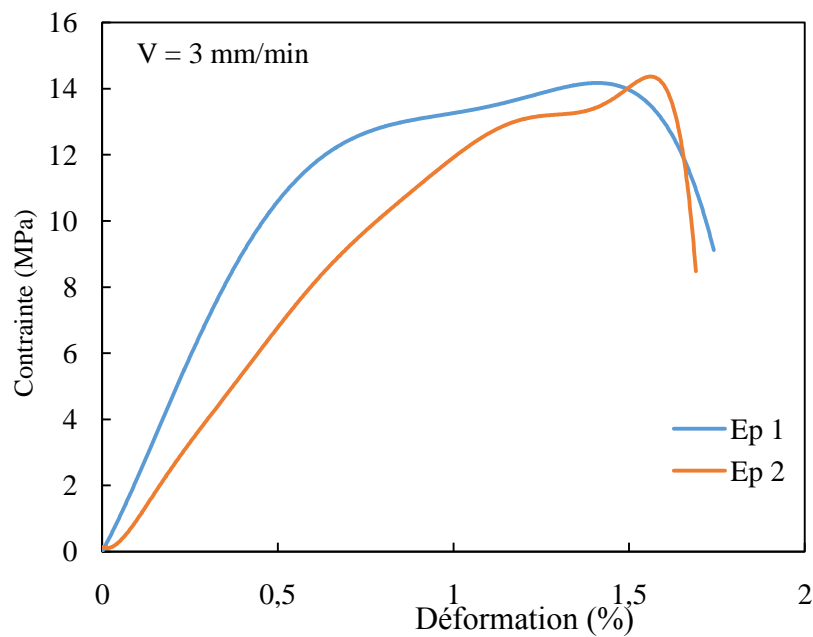
Il est à noter que les propriétés mécaniques en traction et en flexion des composites jute/polyester sont largement meilleures que celles des composites folioles de palmier dattier/polyester.

D'après les figures III. 13, III. 14, III. 15, et III.16, qui représentent l'évolution de la contrainte en fonction de la déformation pour les deux matériaux composites. La première remarque qu'on puisse faire est que les deux matériaux ont le même comportement.

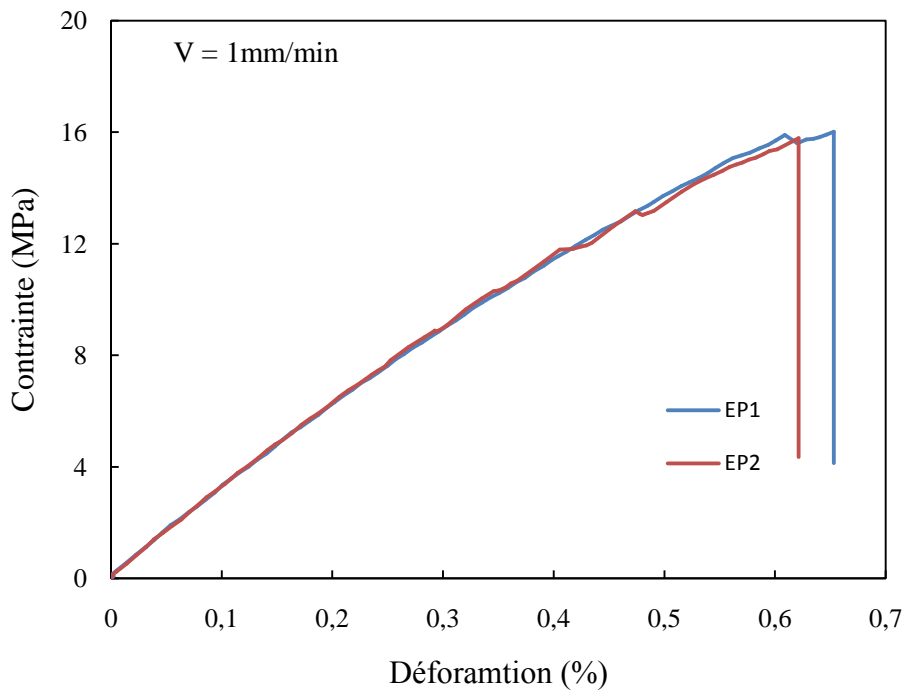
Le comportement mécanique de deux bio composite montre une zone linéaire, correspondant à la partie élastique et permettant la détermination des propriétés élastiques des matériaux. Puis un comportement non-linéaire jusqu'à une contrainte maximale pour le composite foliole de palmier dattier/polyester, cette phase est caractérisée par l'initiation de l'endommagement par développement de microfissures au sein du matériau, pour le jute/polyester une rupture brutale se produit, cette phase correspond à la propagation rapide des fissure conduisant à la rupture totale des éprouvettes. Les résultats expérimentaux obtenus pour le premier type et pour le deuxième type de composite se sont avérés être 14,68 MPa et 16,57 MPa pour la résistance à la traction ultime, 1,122 GPa et 2,840 GPa pour le module de Young, et 1,498 % et 0,760 % pour la déformation à la rupture avec la même vitesse de chargement 3 mm/min.

On remarque que la contrainte maximale jute/polyester varie avec le changement de la vitesse d'essai et est supérieure à celle obtenue avec le composite foliole de palmier dattier/polyester.

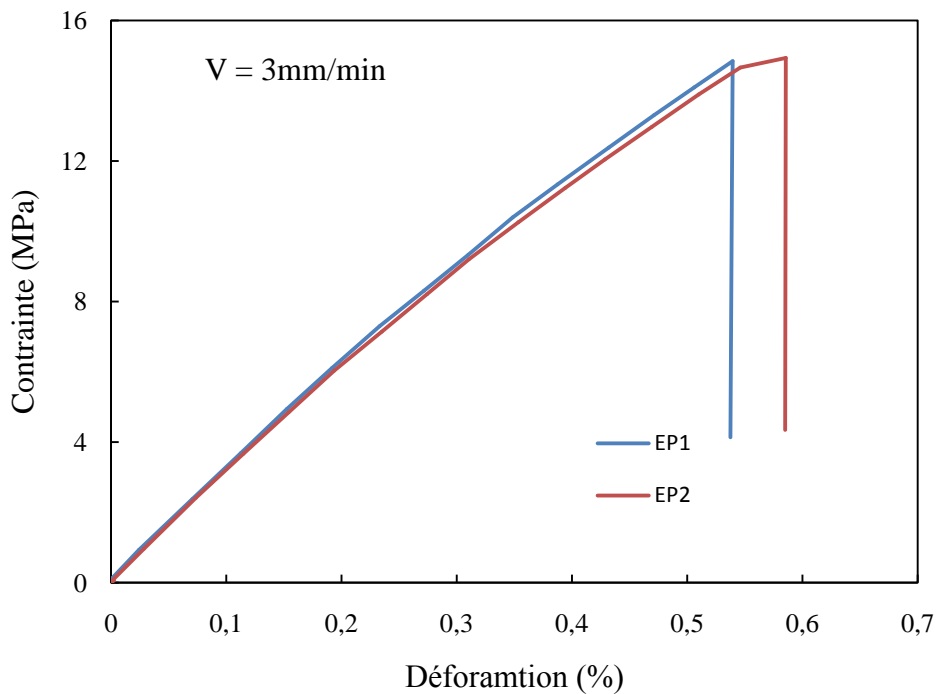
La dispersion constatée des résultats pour chaque type du matériau est dû au caractère hétérogène des matériaux composites.



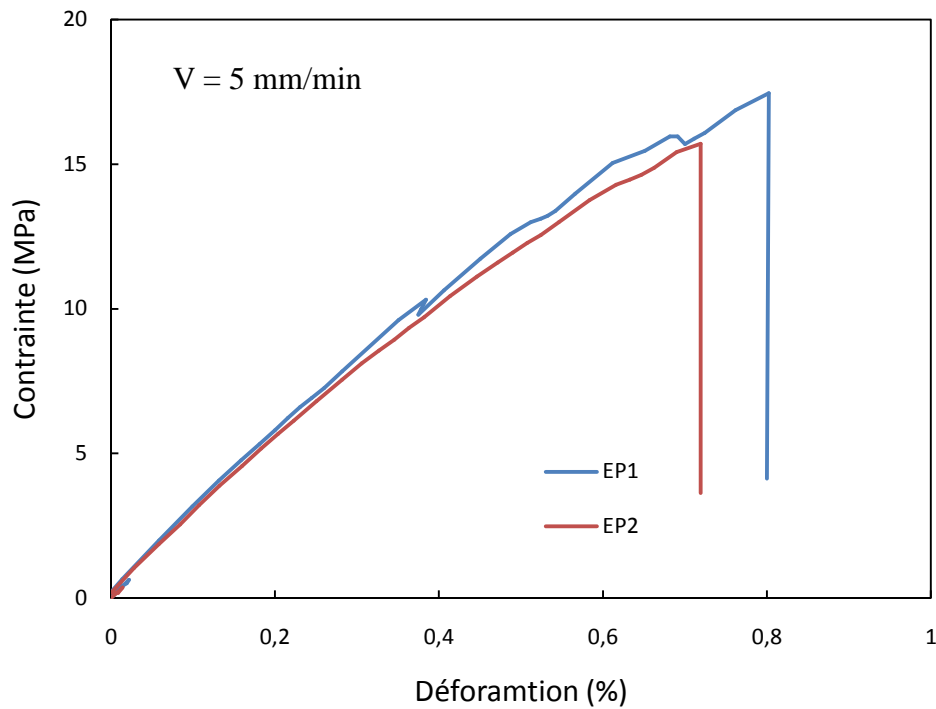
**Figure III.13** Courbe de traction de la contrainte en fonction de déformation des éprouvettes du bio composite foliole palmier dattier/polyester avec  $V = 3 \text{ mm/min}$



**Figure III.14** Courbe de traction de la contrainte en fonction de déformation des éprouvettes du bio composite jute/polyester avec la vitesse 1mm/min



**Figure III.15** Courbe de traction de la contrainte en fonction de déformation des éprouvettes du biocomposite jute/polyester avec la vitesse 3 mm/min



**Figure III.16** Courbe de traction de la contrainte en fonction de déformation des échantillons du bio composite jute/polyester avec la vitesse 5 mm/min

La figure III. 13 représente les échantillons de deux types de composite durant l'essai de traction



**Figure III. 17** Essai de traction a) échantillon folioles de palmier dattier/polyester b) échantillon jute/polyester

## III.5.2 Caractérisation en flexion du matériau composite

Dans le cas des essais de flexion 3-points (Figure III) les éprouvettes en composite foliole palmier dattier/polyester et composite jute/polyester ont été découpées selon la norme ASTM D790 à l'aide d'une tronçonneuse à disquediamanté, à partir de plaques de 330 x 330 mm<sup>2</sup>. La découpe des plaques est effectuée dans le sens longitudinal des folioles de palmier dattier. Les éprouvettes ont été testées avec trois vitesses de sollicitations de 2, 6 et 10 mm/min pour le composite jute/polyester et une seule vitesse d'essai de 6 mm/min pour le composite palmier dattier. Afin de limiter l'effet de dispersions des résultats, plusieurs éprouvettes ont été testées pour chaque vitesse de chargement.

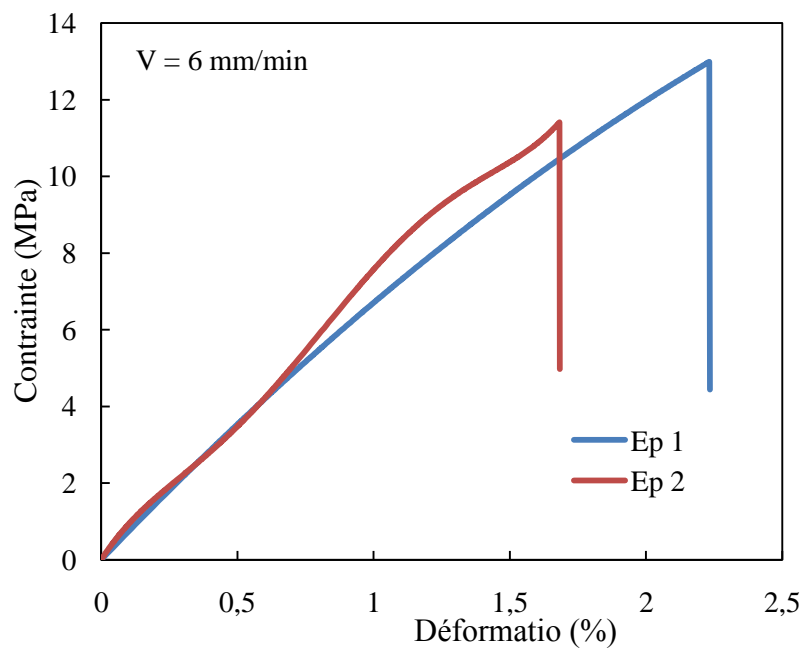
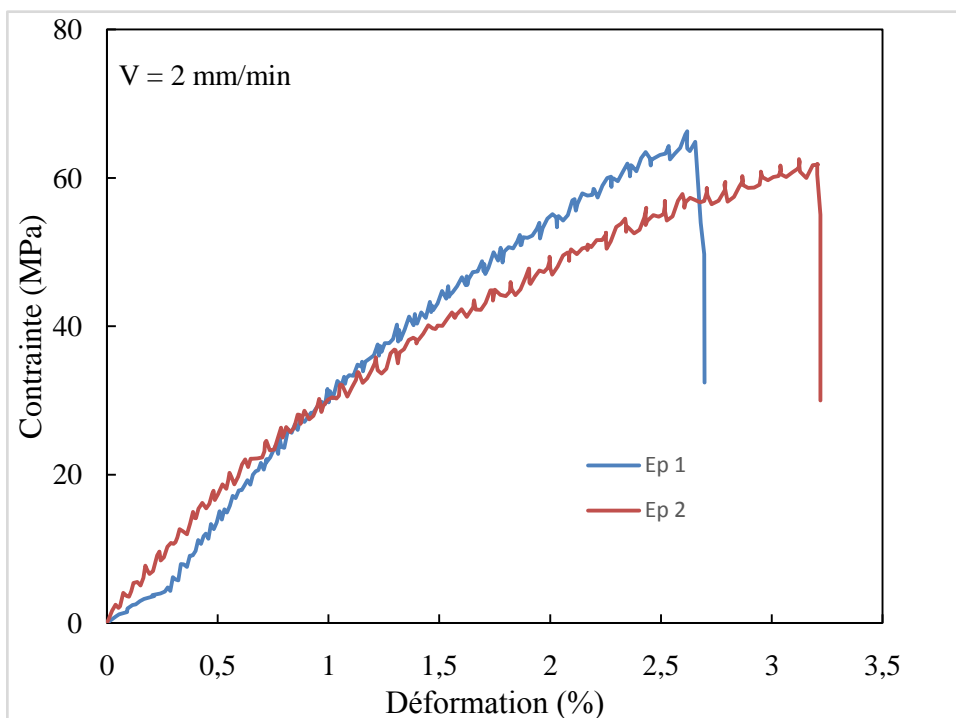
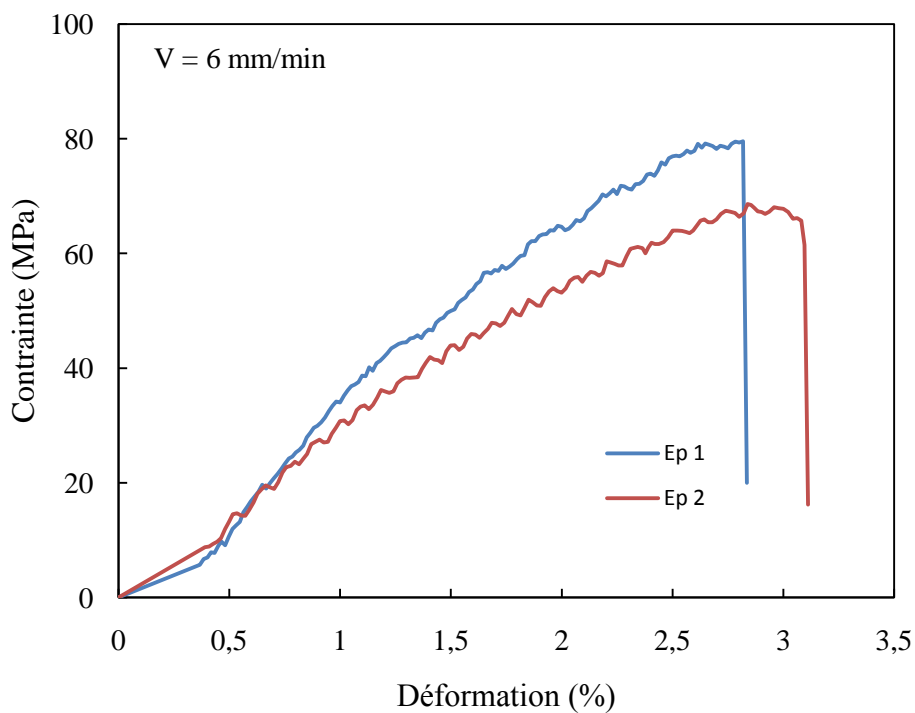


Figure III.18 Courbe de flexion de la contrainte en fonction de déformation des éprouvettes du biocomposite foliole palmier dattier/polyester avec  $V = 6 \text{ mm/min}$





**Figure III.19** Courbe de flexion de la contrainte en fonction de déformation des éprouvettes du bio composite jute/polyester avec la vitesse 2mm/min



**Figure III.20** Courbe de flexion de la contrainte en fonction de déformation des éprouvettes du biocomposite jute/polyester avec la vitesse 6mm/min

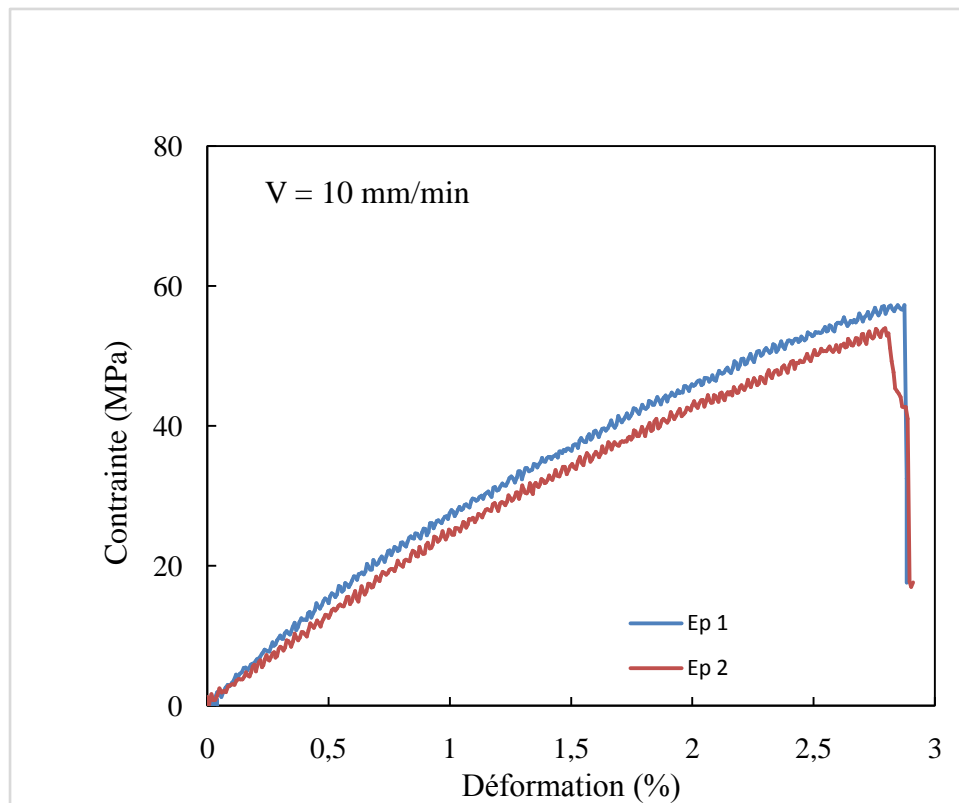


Figure III.21 Courbe de flexion de la contrainte en fonction de déformation des éprouvettes du biocomposite jute/polyester avec la vitesse 10mm/min

D'après les figures III. 18, III.19, III.20, et III. 21, qui représentent l'évolution de la contrainte de flexion en fonction de la déformation pour les deux types de matériaux composites. On constate que les deux types de composite ont la même allure.

Le comportement de la contrainte/déformation jusqu'à la rupture se déroule en deux phases : la première quasi-linéaire jusqu'à l'atteinte de la contrainte ultime suivi par une deuxième phase où les fibres des deux types se rompent d'une manière assez brutale. On constate que la contrainte maximale à la flexion jute/polyester est égale 74,10 MPa obtenus avec la vitesse 6 mm/min et largement supérieure à celle obtenue avec le premier type de composite égale à 14,68 MPa avec la même vitesse.

La figure III. 22 représente les éprouvettes de deux types de composite durant l'essai de flexion



**Figure III. 22** Essai de flexion a) éprouvette folioles de palmier dattier/polyester b) éprouvette jute/polyester

Le tableau III. Récapitule tous les résultats obtenus en traction et en flexion.

Essai	Type de composite	Vitesse d'essai	Contrainte (MPa)	Module de Young (GPa)	Déformation (%)
<b>Traction</b>	Foliole de palmier dattier/polyester	3 mm/min	15,29	1,981	1,067
	Jute/polyester	1 mm/min	16,57	1,547	0,760
		3 mm/min	14,88	1,560	0,562
		5 mm/min	14,26	0,703	1,184
<b>Flexion</b>	Foliole de palmier dattier/polyester	6 mm/min	69,24	2,183	2,848

Jute/polyester	2 mm/min	55,61	2,686	2,834
	6 mm/min	14,68	1,122	1,498
	10 mm/min	15,90	2,840	0,637

### III.5 3. Paramètres étudiés

#### a) Eprouvette de traction

Les caractéristiques mécaniques déterminées de l'essai de traction sont :

- **Contrainte de rupture**

La contrainte de rupture est donnée par la relation

$$\delta = \frac{F}{S}$$

**F** : Force de traction [N]

**S** : Section rompue (mm<sup>2</sup>)

$\delta$ : Contrainte de rupture (MPa)

- **Module d'Young**

Le module d'Young est le facteur de proportionnalité entre la contrainte  $\sigma$  et la déformation

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{F.L_0}{S.\Delta L}$$

Avec

**E** : Module d'Young (MPa).

**L<sub>0</sub>** : Distance entre mords (mm).

**S<sub>0</sub>** : Surface ou section (mm<sup>2</sup>).

$\varepsilon$  : La déformation de la longueur des éprouvettes.

$\Delta L$  : L'allongement des éprouvettes (mm).

### b) Epreuve de flexion

Cet essai permet d'évaluer les propriétés mécaniques en flexion des matériaux étudiés à savoir : la contrainte à rupture ( $\sigma_F$ ), le module de flexion ( $E_F$ ) et la déformation à rupture ( $\varepsilon_F$ ).

La contrainte de flexion peut être calculée en utilisant la formule suivante :

$$\sigma_F = \frac{3FL}{2bh^2}$$

$F$  : effort de flexion

$L$  : longueur entre appuis

$b$ : largeur de l'éprouvette

$h$ : épaisseur de l'éprouvette

Le module de flexion est calculé à partir de la formule suivante :

$$E_F = \frac{L^3 m}{4bh^3}$$
$$m = \frac{\Delta F}{\Delta f}$$

$m$ : La pente de la partie linéaire de la courbe charge déplacement.

$f$ : est le déplacement en mm.

**III.6 Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons traité la mise en œuvre et la caractérisation d'un matériau Composite à matrice polymère thermodurcissable renforcée par des fibres de folioles de palmier dattier et comparer avec un composite jute/polyester.

La préparation des composites nécessite tout d'abord la préparation du matériau de renfort qui nécessite différentes étapes, et un soin particulier afin d'avoir une surface plus ou moins uniforme.

Enfin, une description de la technique expérimentale et des normes utilisées pour les essais mécaniques ont été aussi décrites dans ce chapitre.



# **Conclusion Générale**

### Conclusion Générale

Notre travail réalisé avait pour but l'élaboration et la caractérisation des bio composites à base de fibres de folioles de palmier dattier (folioles de palmier dattier/polyester) et comparé avec un composite jute/polyester. Dans ce contexte nous avons adopté la technique dite moulage du sac pour l'élaboration des plaques bio-composites foliole de palmier dattier/polyester (Laboratoire LMANM) ; ainsi les éprouvettes découpées ont été testées en traction statique et en flexion 3-points. A partir de l'analyse des résultats, les principales conclusions sont :

- Les deux types de bio composites sont élaborés par la technique de sac.
- La contrainte à la traction, le module de Young et la déformation pour les folioles de palmier dattier/polyester sont respectivement égale à 15,29 MPa, 1,981 GPa et 1,067% sont supérieures à celle de jute/polyester 14,88 MPa, 1,560 GPa et 0,562% à la vitesse 3mm/min. Par contre à la vitesse 1 mm/min la contrainte de jute/polyester est égale à 16,57 MPa.
- La contrainte à la flexion de pour les folioles de palmier dattier/polyester égale à 69,24 MPa est largement supérieure à celle de jute/polyester égale à 14,68 MPa à la vitesse d'essai 6 mm/min.
- Les essais de traction et de flexion montrent que les propriétés mécaniques pour le jute/polyester varient en fonction de la vitesse de chargement.



## Références bibliographiques

- [1]. Mémoire Doctorat ALMI Kenza. Développement et caractérisation de matériaux à base du bois de palmier dattier adaptés aux applications de développement durable en Algérie
- [2] : J. Weiss et C. Bord (1983). Les Matériaux Composites (tomes 1 et 2). Editions de l'Usine, Paris.
- [3] : R.G. Weatherhead (1980). FRP Technology. Fibre Reinforced Resin Systems. Applied Science Publishers, Londres.
- [4]. Mémoire Doctorat ALMI Kenza. Développement et caractérisation de matériaux à base du bois de palmier dattier adaptés aux applications de développement durable en Algérie.
- [5]. Boudenne, A., Etude expérimentale et théorique des propriétés thermophysiques de matériaux composites à matrice polymère, 2003, Paris 12.
- [6]. Toufik ACHOUR, « Étude des techniques de réparation des structures composite endommagées », Université de Mentouri Constantine année 2010/2011.
- [7]. Mohamed El Hadi BOURAHILI, Caractérisation d'un composite verre / époxy. Thèse doctorat, UNIVERSITE FERHAT ABBAS-SETIF 1, 2014.
- [8]. Lionel Gendre, Matériaux composites et structures composites. <http://www.si.enscachan.fr>, Sciences de l'ingénieur, 2011.
- [9]. Klárova, M., Composite materials, 2015, VSB.
- [10]. Dutt, M.K., Investigations on dynamic properties of polymer based composites, 2012.
- [11]. Peters, S.T., Handbook of composites 2013: Springer Science & Business Media.
- [12]. Berthelot, J.-M., Matériaux composites. Edition TEC et DOC, Paris 1999.
- [13]. Paris, C., Étude et modélisation de la polymérisation dynamique de composite à matrice thermodurcissable, 2011, INPT.
- [14]. BOUMERDASSI, K. élaboration et caractérisation d'un composite biodégradable à matrice thermoplastique et renfort polysaccharides. Mémoire de magister. Boumerdes : univ
- [15]. Lebrun, G. A. Comportement thermomécanique et durée de vie de composites à matrice céramique : théorie et expérience, Thèse de Doctorat n° 1606, Université de Bordeaux. 1996).

[16]. omiriimen Yamina, « l'effet du traitement des fibres naturelles sur l'endommagement d'un béton polymère », mémoire master, unuversitie du m'sila, 2014/2015.

omiriimen Yamina, « l'effet du traitement des fibres naturelles sur l'endommagement d'un béton polymère », mémoire master, unuversitie du m'sila , 2014/2015.

[17]. K. Bourai, «Étude du comportement thermique d'un composite bois-polymère pour une application en rotomoulage», Maîtrèes sciences, Université Laval, Québec,2010, 128p.[En ligne], disponible sur

[www.erudit.org/these/liste.html?src=Laval&typeIndex=facetteAnneePublication&annee=2010&page=5](http://www.erudit.org/these/liste.html?src=Laval&typeIndex=facetteAnneePublication&annee=2010&page=5)

[18]. A. Mahfoudh, «Étude de la production et de la caractérisation de composites boisplastiques», Mémoire de Maître ès sciences, Département de Génie Chimique, Université Laval, Québec, 2013, 101p.[En ligne], disponible sur :<https://www.google.dz/search?>

[19]. A. Sbiai. «Matériaux composites à matrice époxyde chargée par des fibres de palmier Dattier : effet de l'oxydation au tempo sur les fibres». Thèse de Doctorat, Ecole Doctorale Matériaux de Lyon, France, 2011, 236p. [En ligne], disponible sur <http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/73/88/14/PDF/these.pdf>.

[20]. S. Ikhlef. « Etude du comportement de composites PEBD/farine de Genêt d'Espagne avant et après traitement ». Mémoire de Magister, Faculté de Technologie, Département de Génie des Procédés, Université Ferhat Abbas Sétif, Algérie, 2011, 168 p.

[21]. A. Gandini et M. N. Belgacem. « La chimie des substances renouvelables».L'actualitéchimique, 2002, pp 6-14.

[22]. « Cellulose »Microsoft ® Encarta ® 2007. Microsoft Corporation, 1993-2006.[40]. A. Wachowski. « Les Parois de Cellules Végétales»,[en ligne], 2006. disponible sur <http://www.lycees.ac-rouen.fr/lgcorneille/SPIP/IMG/DS206.pdf> (Consulté le 15/12/2013).

[23]. A.K. BledzkietJ.Gassan. « Composites Reinforced With Cellulose Based Fibres » Progress in Polymer Science., Vol. 24, 1999, pp. 221-274.

[24]. J.M. Berthelot. Composite Materials : Mechanical Behavior and Structural Analysis. Springer New York. 1999.

[25]. Nijssen, R.P.L., Composite Materials an introduction2015

[26]. HaddadiManel, « étude numérique avec comparaison expérimental despropriétésthermoplastique des matériaux composites à matrice polymère », université Al Hadj Lakhdar, Batna, 2011.

- [27] **P. Munier**. Le palmier dattier. G. P. Maisonneuve et Larose, Paris, 221 p, **1973**.
- [28] **F.H. Ahmed Ali**. Palmier dattier: arbre de la vie entre le passé, le présent et le futur. Partie 1, **2005**, Ed, Dare el arabia, Kairo, Egypt,14519/ ISBN977-258-197-3
- [29] **G. Peyron**. Cultivar le palmier dattier.C.I.R.A.D, Montpellier, France,110p, **2000**
- [30] **F H. Ahmed Ali**. Palmier dattier : arbre de la vie entre le passé, le présent et le futur. Partie 2, **2005**, Ed,Dare el arabia, Kairo, Egypt 14517/ ISBN977-258-196-5.
- [33] P. Munier, "Le palmier-dattier," *Techniques agricoles et productions tropicales*, vol. 24, pp. 221, 1973.
- [34] A. Sbiai, "Matériaux composites à matrice époxyde chargée par des fibres depalmier dattier: effet de l'oxydation au tempo sur les fibres," Thèse de doctorat,INSA-Lyon, France, 2011.
- [35] T. Djoudi, M. Hecini, D. Scida, Y. Djebloun, and B. Guerira, "Caractérisation physique et mécanique du bois et des fibres issus d'une palme mûre de palmierdattier," *Matériaux & Techniques*, vol. 106, pp. 403, 2018.
- [36] Itdas, "Rapport sur la situation du secteur agricole," Institut Technique deDéveloppement de l'Agronomie Saharienne, Biskra, Algérie, 2012.
- [37] N. Alp and N. Iskanderany, "Manufacture of Chipboard Panels from IndigenousDate Palm Bioma," *second annual meeting for scientific research, Arabiesaouditethe*2003.