

République Algérienne Démocratique Et populaire
Ministère de L'enseignement Supérieur Et de la Recherche scientifique
Université kasdi Merbah Ouargla



Faculté des sciences appliquées

Département de génie mécanique

**Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de
master académique**

Domaine : Sciences et Techniques

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Fabrication Mécanique et Productique

Présenté par :

AHMIMID FAKHER EDDINE

TAABLI AYMAN

Thème

**Impact de la taille des fibres de palmier dattier sur les
caractéristiques mécaniques d'un matériau composite**

Jury :

Pr. BOUAKBA Moustapha	Professeur	Président	UKM Ouargla
Dr. AMEUR Toufik	MCA	Encadreur	UKM Ouargla
Dr. CHAIB Hachem	MCA	Examineur	UKM Ouargla

2021 / 2022

Remerciement

En premier temps, je remercie dieu Allah tout puissant de m'avoir accordé le courage pour accomplir ce modeste travail.

Je remercie le Professeur Bouakba Moustapha, de l'université de Ouargla, d'avoir accepté de présider le Jury de la soutenance.

Je tiens également à remercier le Dr Chaïb Hashem, qui a accepté la lourde tâche d'examiner ce travail.

Je remercie mon père, ma mère, mes frères et mon Rapporteur Docteur AMEUR TOUFIK qui m'a proposé ce sujet et qui m'a bien guidé tout le long de ce travail.

Je tiens également à remercier le Docteur Tarek DJOUDI de l'Université Mohamed Kheider de Biskra pour ses bons conseils pour faire de ce travail un succès.

Je tiens également à remercier Oussama Smaal, doctorant à l'Université de Ouargla pour son aide à la réalisation de ce travail.

Nous remercions également tous les professeurs du Département de Génie Mécanique de l'Université de Ouargla.

Enfin, je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Fakher Eddine Ahmimid

Je dédie ce mémoire.

À ma mère qui a été à mes côtés depuis toujours, qui m'a encouragée durant ces années d'études. À mon père, mon bon exemple dans ma vie.

À mes frères Khaled , Walid , Mondher, Souhaïla qui font la joie de la vie . À tous mes amis Zine dîne , Ghazali ,Zyan ,Houssam .

Merci!

TAABLI AYMAN

On voudrait dédier ce modeste travail à tous ceux qui sont chers à nos cœurs, qui ont pris soin de nous et qui ont tout sacrifié pour nous.

A papa et maman qui ont soutenu tout le long de mon cursus scolaire et universitaire et qui ont su donner tant d'efforts pour notre bien et réussite. A mon frères et sœurs qui sont chers à mon cœurs. À toute la famille Taabli.

Merci!

Sommaire

Remerciement	I
Dédicace	ii
Sommaire	iii
Liste des figures	vii
Liste des tableaux	x
Les symboles	xi
Introduction générale	1

Chapitre I: Généralités sur les matériaux composites.

I.1	Introduction.....	3
I.2	Définition des matériaux composite.....	3
I.2.1	Matrices.....	3
I.2.1.1	Matrices minérales.....	4
	A. Métalliques.....	4
	B. Céramiques.....	4
I.2.1.2	Matrice organique	5
	A. Matrices thermodurcissables.....	5
	B. Matrices Thermoplastiques.....	5
I.2.2	Les fibres naturelles	5
I.3	Classification des matériaux composites.....	5
I.3.1	Classification selon le type de matrice	6
I.3.2	Classification selon la catégorie du renfort	6
I.3.3	Classification selon la forme du renfort	7
	1. Fibres.....	7
	2. Particules.....	7
	3. Structuraux.....	7
I.3.4	Classification selon le marché.....	9
	A. Les composites de grande diffusion.....	9
	B. Les composites à hautes performances.....	9

Sommaire

I.4	Matériaux bio-composites	9
I.4.1	Matrice.....	9
I.4.1.1	Matrices polymères.....	9
I.4.1.2	Matrices naturelles	10
I.4.2	Fibres végétales	10
I.4.2.1	Composition chimique	10
a.	La cellulose	11
b.	Hémicelluloses.....	11
c.	Lignines.....	12
I.4.2.2	Méthodes d'extraction	12
A.	L'extraction mécanique	13
B.	L'extraction biologique	13
C.	L'extraction chimique.....	13
I.4.2.3	Propriétés des fibres végétales	14
I.5	Procédés de fabrication des composites.....	14
I.5.1	La projection simultanée	14
I.5.2	Le moulage au contact	15
I.5.3	Le BMC, SMC (Bulk Molding Compound, Sheet Moulding Compound).....	15
I.5.4	Le RTM (Resin Transfer Molding).....	15
I.5.5	Le moulage sous-vide	16
I.5.6	Le moulage par compression à chaud	16
I.6	Conclusion.....	17

CHAPITRE II: Utilités des déchets de palmier dattier.

II.1	Introduction.....	18
II.2	Histoire du palmier dattier.....	18
II.3	Répartition géographique du palmier dattier.....	19
II.3.1	Dans le monde	19
II.3.2	En Algérie.....	19
II.3.3	Dans la wilaya de Biskra.....	20
II.4	Constitution du palmier dattiers	21

Sommaire

II.4.1 Les Racines	21
II.4.2 Le stipe ou tronc.....	21
II.4.3 Les Epines.....	21
II.4.4 Les Folioles.....	22
II.4.5 Les Spathes.....	22
II.4.6 Le Pétiole.....	23
II.4.7 Fibrillum.....	23
II.4.8 Les Grappes.....	24
II.4.9 Composition chimique des constituants du palmier dattier.....	24
II.5 Domaines d'utilisation des déchets de palmier dattier.....	25
II.6 Conclusion.....	26

Chapitre III: Elaboration et caractérisation du matériau.

III.1 Introduction.....	27
III.2 Présentation et élaborations des matériaux	27
III.2.1 Préparation des fibres de rachis.....	27
a) Elimination de lignine.....	28
b) Broyage.....	29
c) Tamisage.....	29
d) Lavage.....	30
e) Séchage.....	30
III.2.2 Préparation de la matrice	34
III.2.3 Elaboration du composites.....	34
III.2.4 Préparation des éprouvettes.....	36
III.3 Essais de Flexion 3 points.....	37
III.3.1 Principe.....	37
III.3.2 Machine de Flexion.....	38
III.4 Résultat et discussion.....	38
III.5 Conclusion.....	42
Conclusion générale	44
Références bibliographies	43

Liste des figures

Figure I.1 : Constituent d'un matériau composite.....	3
Figure I.2 : Différentes types de matrice.....	4
Figure I.3 : Classification schématique des composites.....	5
Figure I.4 : Classification des composites selon la nature de la matrice.....	6
Figure I.5 : Classification des composites selon la catégorie de renfort.....	7
Figure I.6 : Matériau composite sandwichs.....	8
Figure I.7 : Un matériau composite stratifié.....	8
Figure I.8 : Classification du composite selon la forme des renforts.....	8
Figure I.9 : Structures moléculaires des polymères.....	10
Figure I.10 : Structure schématique d'une fibre végétale.....	11
Figure I.11 : La structure de la cellulose.....	11
Figure I.12 : Structure chimique de l'hémicellulose.....	12
Figure I.13 : Structure de la lignine.....	12
Figure I.14 : Différentes techniques d'extraction des fibres végétales.....	13
Figure I.15 : Schéma de principe du moulage au contact.....	14
Figure I.16 : Méthode de projection simultanée.....	15
Figure I.17 : Méthode de BMC-SMC.....	15
Figure I.18 : Principe de moulage par injection de résine.....	16
Figure I.19 : Méthode du moulage sous vide.....	16
Figure I.20 : Méthode de moulage par compression à chaud.....	17
Figure II.1 : les palmiers dattiers.....	18

Liste des figures

Figure II.2 : Répartition géographique du palmier dattier dans le monde.....	19
Figure II.3 : Localisation des oasis au Sahara algérien	20
Figure II.4 : Répartition de palmier dattier en région de Biskra.....	21
Figure II.5 : Les Epines.....	21
Figure II.6 : Les Foliolles.....	22
Figure II.7 : Les Spathes.....	22
Figure II.8 : Des pétioles secs.....	23
Figure II.9 : Le Fibrillium et son emplacement dans le palmier.....	23
Figure II.10 : Les Grappes.....	24
Figure II.11 : Quelques utilisations des déchets de palmier dattier.....	26
Figure III.1 : Rachis.....	27
Figure III.2 : Rachis découpé.....	28
Figure III.3 : Broyage massique du rachi.....	28
Figure III.4 : Broyeur.....	29
Figure III.5 : Appareil de tamisage.....	30
Figure III.6 : lavage des fibres.....	30
Figure III.7 : Séchage des fibres.....	31
Figure III.8 : Courbe des taux d'humidité	33
Figure III.9 : Résine Epoxyde avec leur durcisseur.....	34
Figure III.10 : Balance électronique.....	35
Figure III. 11 : Résine époxy.....	35
Figure III.12 : Mélange EFR.....	36
Figure III.13 : Moulage époxy / fibre.....	36

Liste des figures

Figure III.14 : Plaques de composite.....	37
Figure III.14 : Découpe des éprouvettes.....	37
Figure III.16 : Flexion trois points.....	38
Figure III.17 : Appareille universel d'essais mécaniques.....	38
Figure III.18 : Résultats de l'essai pour la taille 0.08 mm.....	39
Figure III.19 : Résultats de l'essai pour la taille 0.315 mm.....	39
Figure III.20 : Résultats de l'essai pour la taille 0.8 mm.....	40
Figure III.21 : Comparaison des résultats.....	42

liste des tableaux

Tableau II.1 : Composition chimique de quelques types de bois de palmier dattier.....	24
Tableau II.2 : Utilisation de déchet du palmier dattier.....	25
Tableau III.1 : Taux d'humidité pour taille 0.08 mm.....	32
Tableau III.2 : Taux d'humidité pour taille 0.315 mm.....	32
Tableau III.3 : Taux d'humidité pour taille 0. 8 mm.....	33
Tableau III.4 : Caractéristiques des éprouvettes de taille 0.08 mm.....	41
Tableau III.5 : Caractéristiques des éprouvettes de taille 0.315 mm.....	41
Tableau III.6 : Caractéristiques des éprouvettes de taille 0.8 mm.....	41

Les symboles

H	Taux d'humidité	
M_h	masse d'échantillon avant séchage	[g]
M_s	masse d'échantillon après séchage.	[g]
M_{Tot} , $M_{Matrice}$, M_{Fibre}	sont la masse totale, de la matrice, des fibres, respectivement	[g]
%	Pourcentage de fibres (16%).	
$\rho_{\text{époxyde}}$	densité époxyde	[g/cm ³]
V_{moule}	Volume de moule	[mm ³]
E_f	le module d'élasticité en flexion	[MPa]
L	Portée	[mm]
b	Longer	[mm]
h	Hauteur	[mm]
F	Charge	[N]
S	Déplacement	[mm]

Introduction générale:

Ces dernières années, les bio-composites ont pénétré de nombreux secteurs : aéronautique, automobile, construction ...etc., du fait de leur faible coût, de leur faible densité, de leur biodégradabilité, de leur disponibilité, de leur facilité de mise en œuvre et de leur capacité à se recycler. Ces propriétés sont actuellement de très grande valeur à cause des problèmes environnementaux et dommages à la santé humaine dus à l'utilisation de matériaux synthétiques. Des chercheurs ont recyclé des déchets naturels tels que des feuilles de palmier pour les utiliser comme renforts de matériaux composites. Ses recherches ont reçu de nombreux encouragements.

Dans ce contexte, cette étude a inclus des travaux expérimentaux utilisant des frondes sèches de palmier dattier qui constituent l'une des richesses végétales les plus abondantes de notre région et qui est encore peu exploitée à l'heure actuelle. En développant plusieurs types de matériaux composites renforcés de fibres extraites de feuilles de palmier, les propriétés mécaniques et physiques de ces matériaux composites ont ensuite été étudiées. L'étude mécanique des matériaux composites à base de ces fibres a été réalisée à l'aide d'une matrice époxy utilisant différentes tailles de fibres lors de la stabilisation de la fraction massique du mélange.

L'objectif de ce travail est d'étudier l'évolution du comportement mécanique des biomatériaux en utilisant différentes tailles de fibres de rachis et en les mélangeant avec de l'époxy. Les panneaux réalisés en utilisant trois tailles différentes de fibre (petite, moyenne et grande) seront testés en flexion trois points afin de discuter la relation entre la taille de fibre et les propriétés mécaniques du matériau.

Le présent document est articulé, en plus à l'introduction générale et la conclusion générale, en trois chapitres :

Dans le premier, nous présenterons des généralités sur les matériaux composites, leur classification selon le renfort utilisé, et les différentes méthodes de fabrication des matériaux composites.

Le deuxième chapitre est dédié à l'étude de palmier dattier. Nous montrerons, dans ce chapitre, la répartition géographique des palmiers dattiers dans le monde et dans notre pays et région. Ainsi, nous présentons les différentes utilisations possibles des déchets de palmier dattier.

Introduction générale:

Dans le troisième chapitre, nous présentons les techniques d'élaboration des matériaux composites à base de fibres de rachis et celles utilisées dans les essais de flexion trois points et dans le traitement des résultats.

CHAPITRE I :
Généralités sur les
matériaux composites

I.1 Introduction :

Nous présentons, dans ce chapitre les matériaux composites en analysant leurs composants et leurs classifications. Cette présentation donne aussi un aperçu des bio-composites, de manière générale, et leurs différentes utilités réelles. Enfin quelques procédés de fabrication sont.

I.2 Définition des matériaux composites :

Au sens large, un composite peut être défini comme l'assemblage de deux (ou plusieurs) substances non perméables à l'échelle de la microstructure [1]. L'assemblage final a des propriétés qui dépassent celles des composants. Les deux principaux composants des matériaux composites sont la matrice et le renforcement (**Figure I.1**) [2, 3].

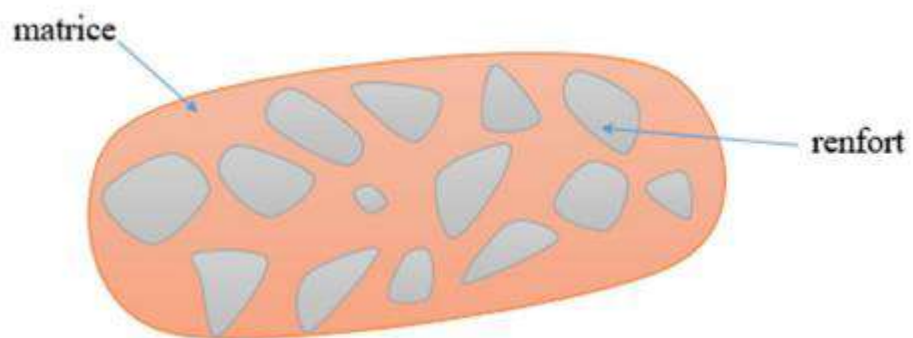


Figure I.1 : Constituent d'un matériau composite[3].

Des additifs peuvent être ajoutés à ces deux composants principaux, ce qui peut modifier l'apparence ou les propriétés du matériau [4].

I.2.1 Matrice :

La matrice est l'élément qui distribue les charges appliquées au matériau, intègre et protège le renfort et donne la forme requise au produit [5]. Dans de nombreux cas, la matrice formant le matériau composite est une résine polymère. Ces dernières existent, en grand nombre, chacune avec un domaine d'utilisation particulier [4, 6]. La figure I.2 illustre la classification générale des matrices employées dans l'élaboration des matériaux composites.

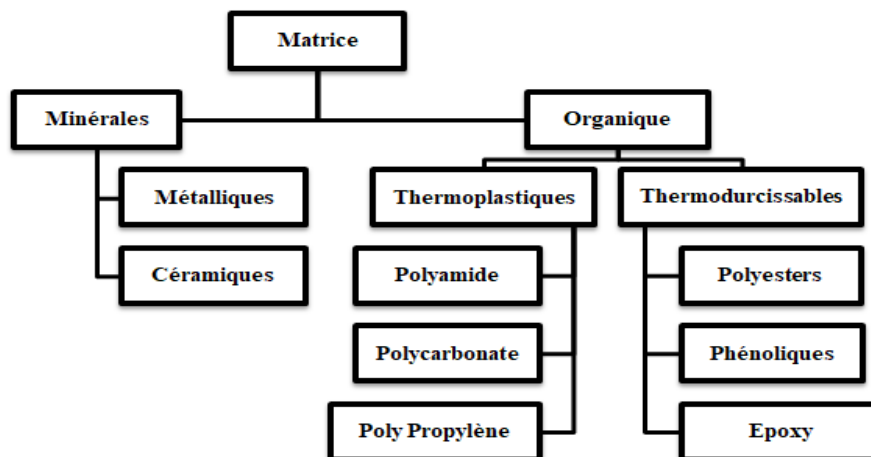


Figure I.2 : Différentes types de matrice[4].

I.2.1.1 Matrices minérales :

A. Métalliques :

Les matériaux composites à base de matrice métallique sont constitués d'un renfort métallique (fil d'acier, particules de carbure de silicium, carbone, alumine) et d'une matrice métallique (titane, aluminium, zinc, magnésium, etc.). Cependant, l'utilisation des fibres est très compliquée en raison de la difficulté de les enrober de métal liquide. La température joue un rôle important dans les propriétés mécaniques du matériau en raison des interactions potentielles entre les renforts et la matrice. Cet aspect limite l'utilisation de ces composites pour des applications à des températures inférieures à 800°C [7].

B. Céramiques :

La céramique est le matériau de matrice le plus approprié. Leur association à un renfort fibreux (au sein d'un complexe) permet de pallier leur principal inconvénient, la fragilité. Ainsi, les composites à matrice céramique peuvent être envisagés pour la fabrication à long terme des pièces de moteurs thermiques ou d'engins spatiaux, voire pour des applications nucléaires civiles et militaires en raison de leur excellente résistivité, de leur haut module d'élasticité, de leur dureté élevée et de leur bonne inertie chimique ainsi que de leur relativement faible densité [7].

I.2.1.2 Matrice organique :

A. Matrices thermodurcissables :

Les matrices thermodurcissables sont des polymères qui ne peuvent être formés qu'une seule fois mais qui ont des propriétés mécaniques et des propriétés thermomécaniques supérieures à celles des thermoplastiques [8].

B. Matrices thermoplastiques :

C'est un matériau semi-cristallin avec une phase amorphe et une quasi-phase cristalline. Les polymères thermoplastiques ont de mauvaises propriétés mécaniques. Ces polymères sont solides et nécessitent un traitement à très haute température [4, 5].

I.2.2 Fibres naturelles :

Les fibres naturelles sont des matériaux produits par les plantes, les animaux ou les processus géologique et peuvent être utilisées comme composant de matériaux composites. Malgré les avantages des fibres naturelles, l'emploi de ces fibres et de leurs dérivés est limitée en raison de leurs propriétés hydrofuges qui empêchent la bonne cohésion entre les fibres [9].

I.3 Classification des composites :

Le domaine des matériaux composites est très large et peut être divisé en deux grandes catégories: les matériaux composites renforcés et les composites structuraux [4, 10].

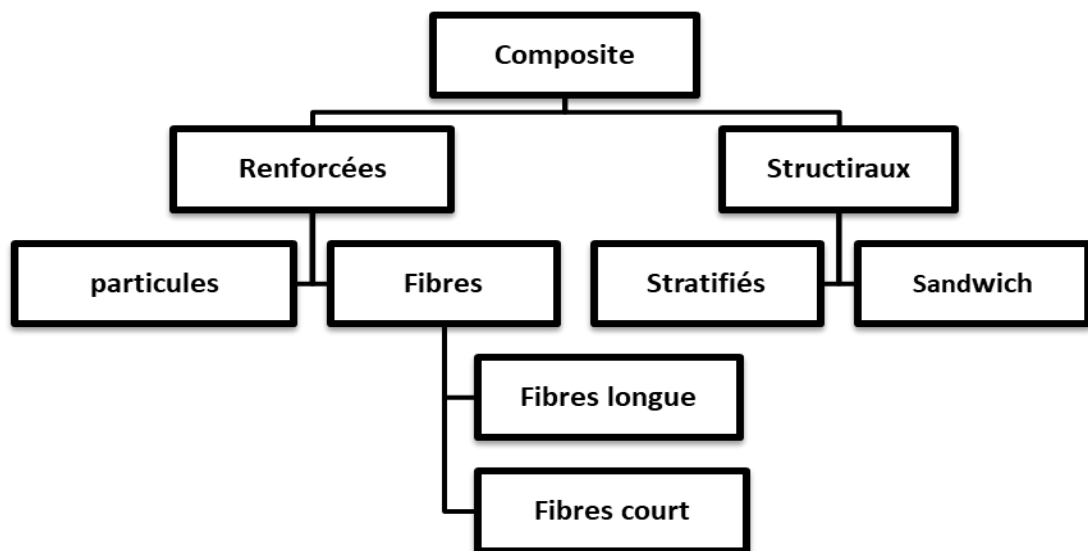


Figure I.3 : Classification schématique des composites[4].

Notons qu'il existe aussi, dans la littérature, d'autres classifications. Chacune de ces classifications est utilisée dans un type d'étude bien approprié. Nous pouvons, dans notre situation, présenter les classifications essentielles.

I.3.1 Classification selon le type de matrice :

La majorité des matériaux composites sont transformés en une matrice polymère [11]. Mais les propriétés mécaniques des polymères ne sont pas assez élevées pour une application structurale, il est donc avantageux de les améliorer avec un facteur croissant [12].

Selon le type de matrice employée et d'une manière générale, les matériaux composites sont classés en trois catégories [3]:

- 1) Les composites à matrice organique.
- 2) Les composites à matrice métallique.
- 3) Les composites à matrices naturelle.

Ainsi, la figure I.4 présente la typologie de ces trois genres de matrice.

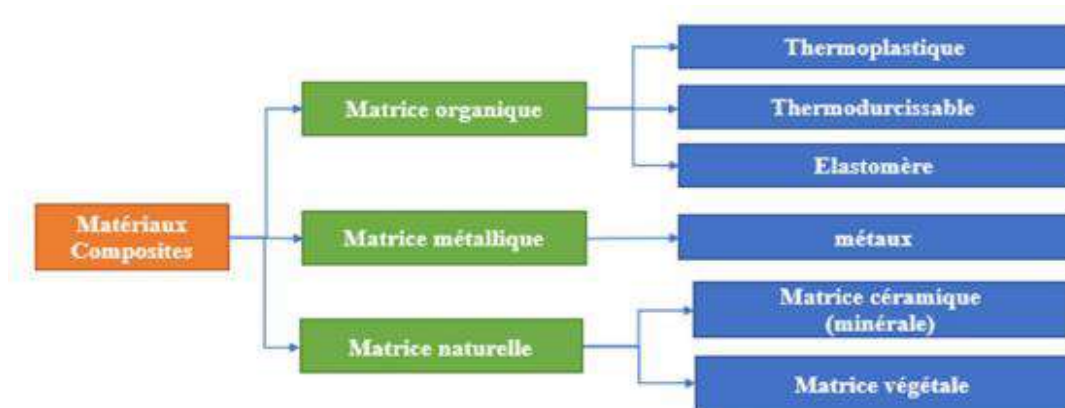


Figure I.4 : Classification des composites selon la nature de la matrice[3].

I.3.2 Classification selon la catégorie du renfort :

Les fibres employées comme renfort dans les matériaux composites sont classés en deux grandes familles [3] :

1. Les fibres inorganiques,
2. Les fibres organiques.

La figure I.5 illustre une classification détaillée des composites selon le type de fibre.

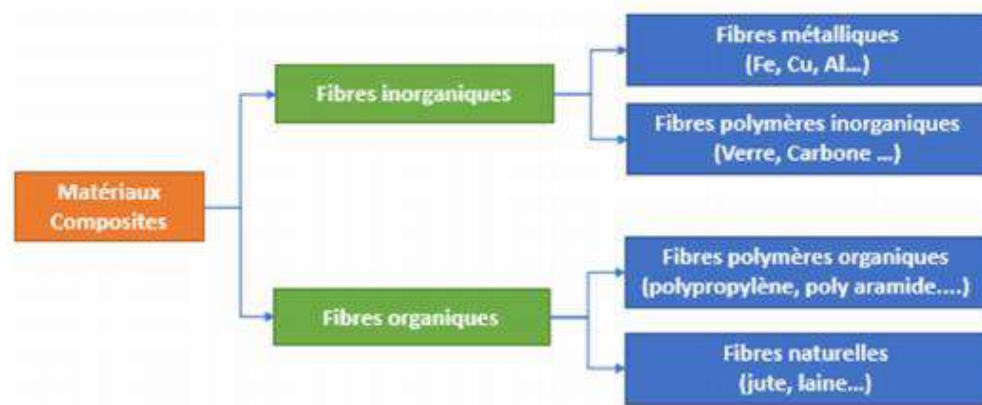


Figure I.5 : Classification des composites selon la catégorie de renfort[3].

I.3.3 Classification selon la forme du renfort :

Les composites peuvent être classifiés selon la forme géométrique des renforts qui peut être fibreuse ou poudre (sous forme de particules).

1) **Fibres** : Un composé fibreux si le renfort est sous forme de fibres. Les fibres utilisées sont soit sous forme de fibres connectées, soit sous forme de fibres discontinues : fibres coupées, fibres courtes, etc. [13].

2) **Particules** : Composé particulaire lorsque le renfort est sous forme de particules. La particule, contrairement à la fibre, n'a pas de dimensions préférentielles. Les particules sont généralement utilisées pour améliorer certaines propriétés des matériaux ou des matrices, telles que la dureté, la résistance à la température, la résistance à l'usure, la réduction du retrait, etc. [13].

3) **Structuraux** :

a) **Les sandwiches** : Des matériaux constitués de deux semelles (cuirs ou peaux) de dureté élevée et de faible épaisseur enveloppent l'âme (cœur) de forte épaisseur et de faible résistance. L'ensemble de la structure forme une grande légèreté. Le matériau sandwich est très résistant en flexion et constitue un excellent isolant thermique. La figure I.6 représente un matériau composite sandwich [13].

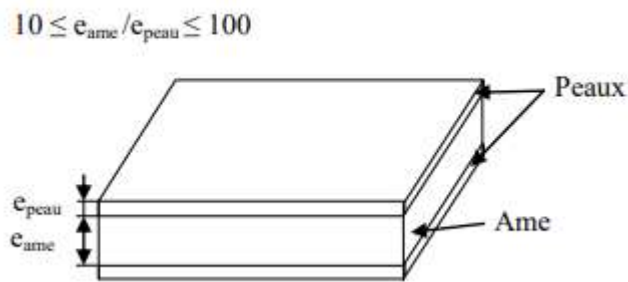


Figure I.6 : Matériau composite sandwich[13].

b) **Stratifiés :** Le stratifié est constitué d'un empilement de monocouches ayant chacune une orientation propre par rapport au référentiel commun des couches destinées au référentiel laminaire. La figure I.7 représente un matériau composite stratifié [13].

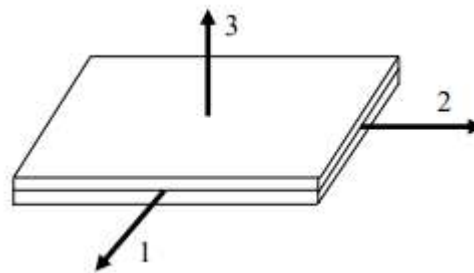


Figure I.7 : Un matériau composite stratifié[13].

Ainsi la figure I.8 met en une illustration la classification détaillée selon la géométrie des renforts.

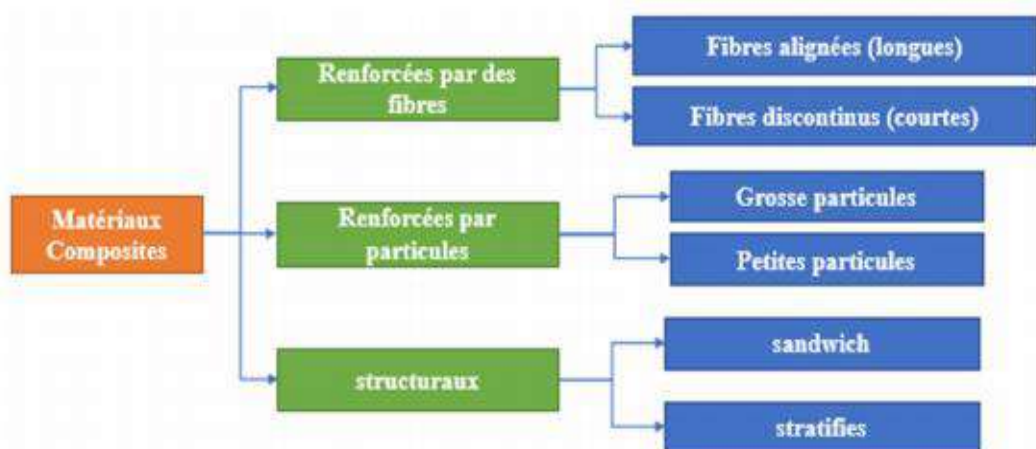


Figure I.8 : Classification du composite selon la forme des renforts[3].

I.3.4 Classification selon le marché :

Les matériaux composites sont souvent classés selon leurs diffusions dans le marché. Cette classification peut être aussi basée sur la réputation du composite. Dans ce sens, nous pouvons présenter les matériaux composites avec la classification suivante :

a. Les composites de grande diffusion : Ces composites ne sont pas chers et par conséquent largement disponibles sur le marché. On les retrouve, par exemple, dans les industries de construction, de transport maritime, de piscines ou dans les équipements électriques [3].

b. Les composites à hautes performances : Ces composites sont chers mais d'excellentes propriétés mécaniques. Les renforts utilisés dans ces composites sont plutôt fibres longues [3].

I.4 Matériaux bio-composites :

Ces matériaux composites sont basés sur le composant biologique (bio-booster ou matrice biologique, ou les deux). En effet, ils sont respectueux de l'environnement, durables et entièrement biodégradables [2]. En fin de cycle, il peut être recyclé ou synthétisé sans causer de toxicité environnementale [3].

I.4.1 Matrice :

I.4.1.1 Matrices polymères :

Il existe deux types de matrices polymères qui ont des propriétés différents utilisés dans le domaine de bio-composite :

1. Les thermoplastiques,
2. Les thermodurcissables.

La principale différence entre ces deux types de polymères est la nature des phénomènes physiques qui assurent leur cohésion. Les thermoplastiques sont constitués de longues molécules linéaires, maintenues ensemble par des liaisons physiques à faible énergie (**Figure I.9 (a)**). Au contraire, les thermodurcissables sont des molécules sous forme de réseaux tridimensionnels, liés par des liaisons chimiques à haute énergie qui se marquent de manière irréversible lors de la polymérisation (**Figure I.9 (b)**) [14].

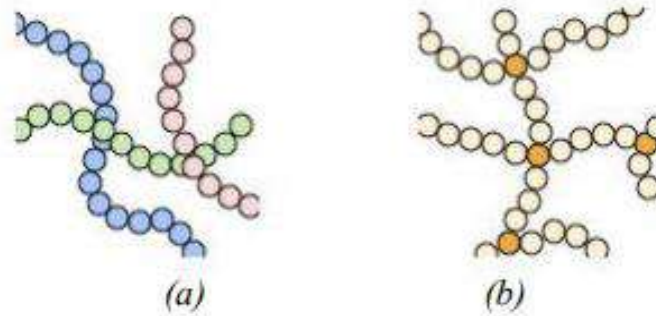


Figure I.9 : Structures moléculaires des polymères ;
(a) thermoplastiques, (b) thermodurcissables [14].

I.4.1.2 Matrices naturelles :

Ces matrices sont, souvent, constituées de polymères d'origine naturelle issus de la transformation chimique de deux (ou plusieurs) composants ; un solide et un liquide. Les matrices végétales sont obtenues soit à partir de l'extraction d'une matière végétale solide (lignine, pectine) puis de son mélange avec une solution, soit à partir des sécrétions naturelles de substances naturelles sécrétées par des plantes spécifiques [14].

I.4.2 Fibres végétales :

Les fibres végétales sont des structures biologiques constituées de cellulose, hémicellulose et lignine. Il contient également des extraits, des protéines et certains composés inorganiques [15]. La fibre végétale représente une ressource renouvelable et environnementale contrairement à des fibres chimiques issues des ressources pétrolières de plus en plus rares et chères [6, 10].

I.4.2.1 Composition chimique :

La biomasse végétale est composée de plusieurs grosses molécules liées entre elles à l'intérieur de la paroi végétale. La composition d'une substance chimique dépend de l'origine des fibres, des conditions de croissance, des conditions climatiques, de l'âge de la plante et de l'origine des fibres (feuilles, tige, fruit, etc.) [14]. La structure microscopique des fibres végétales est complexe, constituée de chaînes de cellulose. Ces chaînes s'associent en parallèle en formant des liaisons hydrogène dans des microfibrilles dont la section varie, de l'ordre de quelques nanomètres, selon les espèces végétales [11]. Enfin, les fibres se présentent sous la forme d'un composé multicouche en où la lignine joue le rôle de revêtement matriciel [6].

CHAPITRE I : Généralités sur les matériaux composites

Les composées les plus majoritaire sont la cellulose, l'hémicellulose les pectines et les lignines. Ces différents constituants sont agencés de manière très complexe (**Figure I.10**) [3, 15].

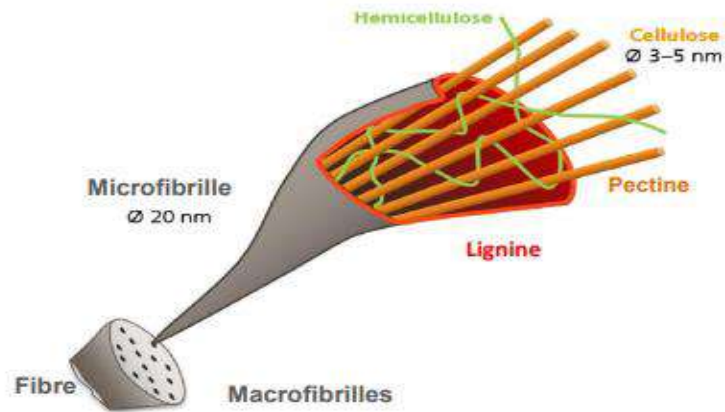


Figure I.10 : Structure schématique d'une fibre végétale[3].

a. La cellulose :

C'est le principal composant des fibres végétales. D'un point de vue chimique, la cellulose est une macromolécule constituée d'une très longue chaîne stéréo régulière qui se compose de liaisons glucose ($C_6H_{11}O_5$) [1, 16].

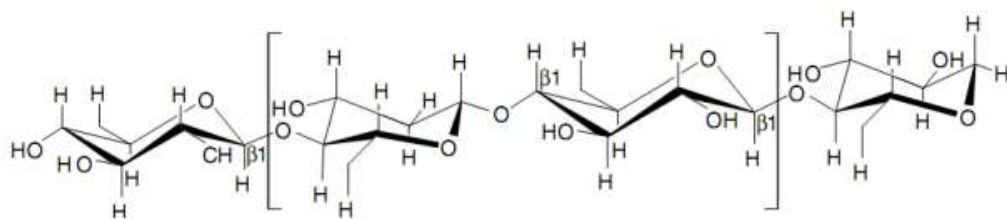


Figure I.11 : La structure de la cellulose[16].

b. L'hémicellulose :

Il consiste en un groupe de polysaccharides constitué d'un mélange de 5 et 6 cycles carbonés (**Figure I.12**). L'hémicellulose forme une matrice de support en microfibre de cellulose [1, 6, 17].

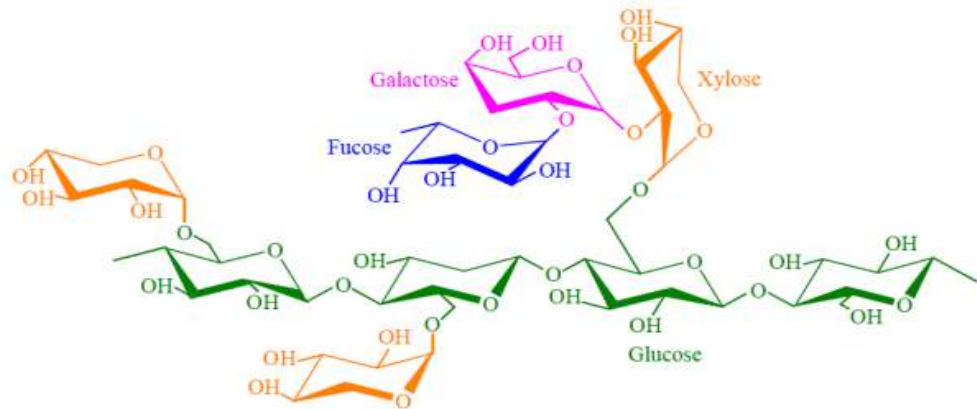


Figure I.12 : Structure chimique de l'hémicellulose[1].

c. La lignine :

C'est la matière organique renouvelable la plus abondante. La lignine est constituée de polymères phénoliques amorphes tridimensionnels [1]. Elle se produit lors de la formation de la paroi secondaire et se dépose autour des polysaccharides et composants protéiniques de la paroi en tant que revêtement la rendant plus hydrophobe [6, 18].

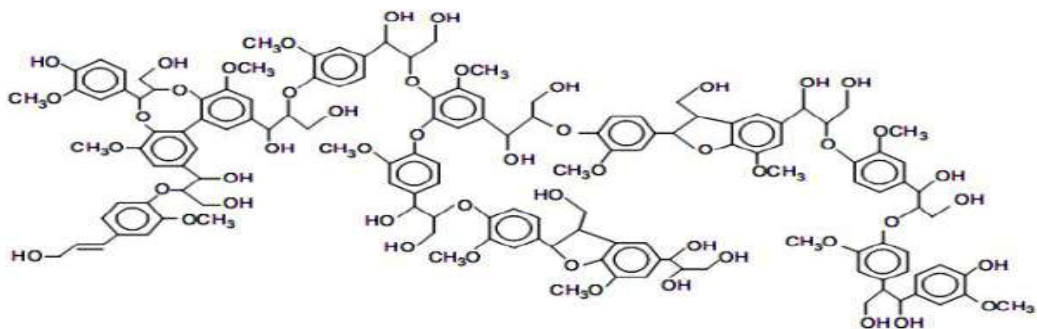


Figure I.13 : Structure de la lignine[1].

I.4.2.2 Méthodes d'extraction :

Les procédures d'extraction des fibres naturelles peuvent être divisées en processus de séparation ; biologique, mécanique et chimique (**Figure I.14**). Dans certains cas, on procède par la combinaison de deux (ou plusieurs) traitements différents, par exemple, un traitement mécanique suivi d'un autre droitement chimique, ou bien un traitement chimique suivi d'un traitement biologique, etc. [3, 14].

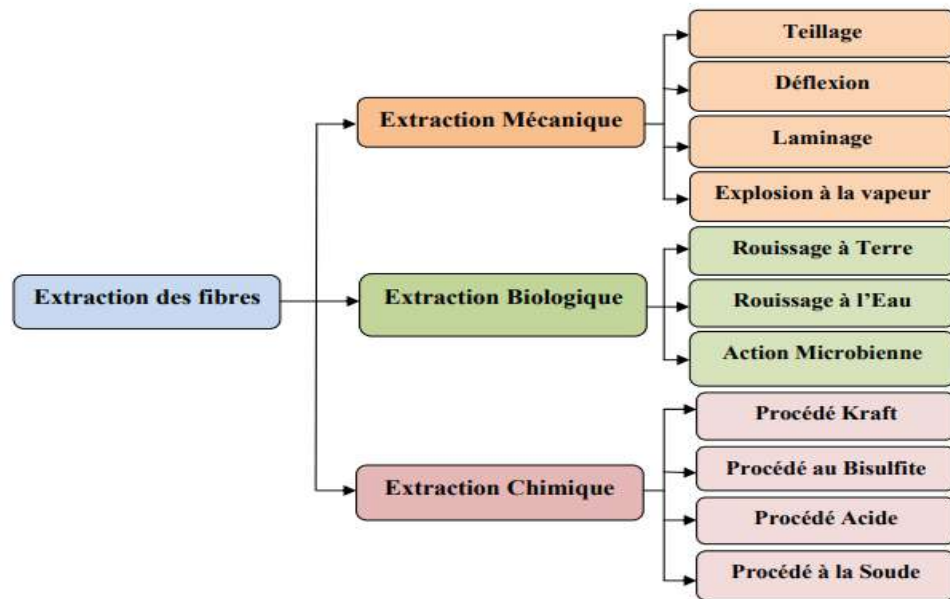


Figure I.14 : Différentes techniques d'extraction des fibres végétales[14].

A. L'extraction mécanique :

Cette technologie est basée sur la séparation mécanique des fibres par machine ou manuellement. Les matières premières utilisées lors de ce processus doivent être sèches ou légèrement tannées [17]. L'extraction mécanique des fibres est l'une des méthodes les plus économiques [6, 14].

B. L'extraction biologique :

Le traitement biologique consiste à décomposer les matériaux liants des fibres en utilisant des micro-organismes qui se développent dans le milieu du traitement ou en utilisant des enzymes qui activent le processus de décomposition de ces matériaux [6]. Cette méthode est très efficace. Cependant, ils ne peuvent pas éliminer la polymérisation de la pectine et sont généralement basés sur des conditions naturelles violentes [14].

C. L'extraction chimique :

L'extraction chimique des fibres végétales consiste à transformer la matière fibreuse dans une solution contenant un (ou plusieurs) agents chimiques dans des conditions bien définies [6]. Les méthodes d'extraction chimique des fibres végétales permettent d'éviter les inconvénients de l'extraction mécanique, surtout d'économiser beaucoup de temps et d'énergie [14].

I.4.2.3 Propriétés des fibres végétales :

La composition chimique, les dimensions et les défauts des fibres sont les principales variables qui déterminent toutes les propriétés des fibres. Généralement bien positionnées, la

résistance à la traction des fibres augmentent avec l'augmentation de la teneur en cellulose [17]. Les propriétés mécaniques des fibres textiles sont plus importantes pour prédire le comportement des fibres lors d'un traitement ultérieur. D'une manière générale elles sont de bons renforts pour les matrices à cause de leur résistance relativement grande et leur faible densité [6, 14].

I.5 Procédés de fabrication des composites :

Les matériaux composites à matrice organique sont fabriqués par moulage. Le choix de la technologie dépend principalement des matériaux utilisés (matrice et renfort) [10]. Ils peuvent être formés par des procédés manuels ou automatiques. Dans l'ensemble, les outils nécessaires aux procédés automatisés s'amortissent en résultant en moyenne et grande série ; c'est pourquoi les procédés manuels sont plus adaptés, d'un point de vue économique, à la petite série [6, 14]. Selon la constitution des composites, on peut trouver une gamme très large de méthode de fabrication. Dans cette section, nous ne présentons que les procédés de fabrication les plus répandus et les plus utilisés.

I.5.1 Le moulage au contact :

Cette technique consiste à déposer sur la forme (le moule) une couche d'agent démoulant pour pouvoir récupérer le composite et avoir une surface lisse (Figure I.15) [3]. Une phase de déballage, à l'aide d'un rouleau est nécessaire afin d'éliminer les inclusions d'air dans la pièce [1].

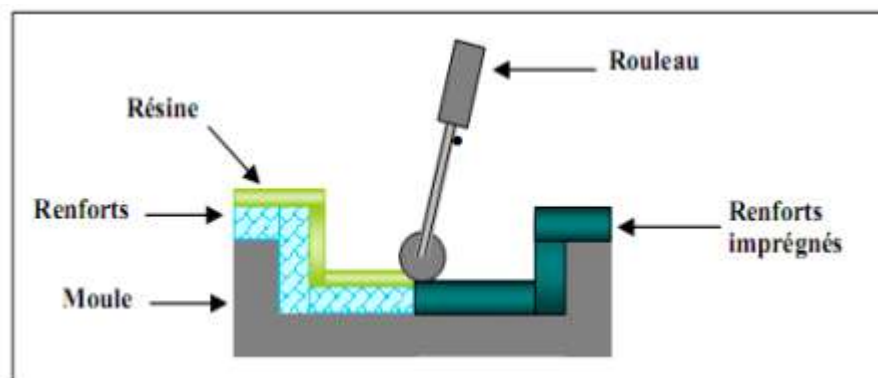


Figure I.15 : Schéma de principe du moulage au contact[3].

I.5.2 La projection simultanée :

C'est un procédé semi-automatisé qui permet la production de grandes pièces de formes simples ou complexes. Rapide et facile à mettre en œuvre, la résine et les fibres de renfort coupées sont déposées simultanément au pistolet sur une filière [3, 14].

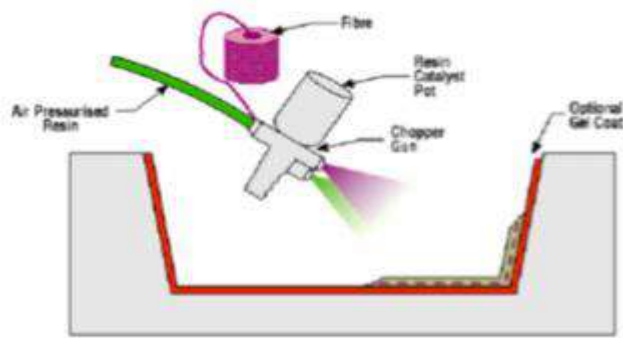


Figure I.16 : Méthode de projection simultanée[3].

I.5.3 Le BMC, SMC (Bulk Molding Compound, Sheet Moulding Compound):

Le principe consiste à déposer des feuilles de matériau, préalablement imprégnés dans un contre moule chauffé, de les comprimer avec un moule chauffé et puis les éjecter sous la forme de pièce [3, 14,13].

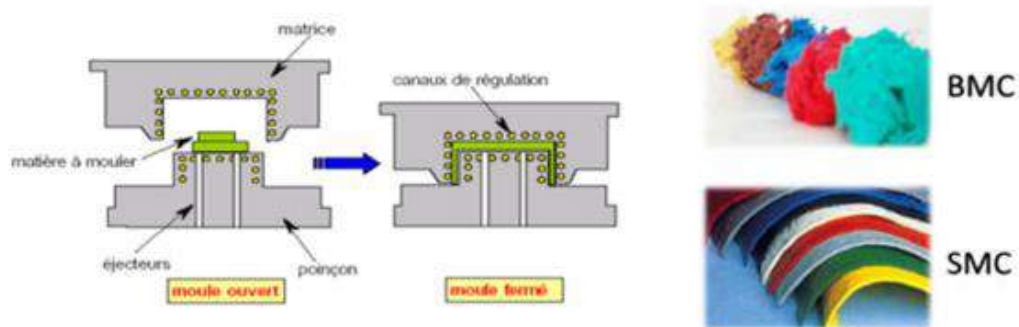


Figure I.1 7: Méthode de BMC-SMC[3].

I.5.4 Le RTM (Resin Transfer Moulding) :

C'est une technique de fabrication de pièces en matériaux composites. Il s'agit d'un procédé industriel d'injection de résine liquide sous basse pression dans un moule solide et étanche [14]. Le renfort est placé dans le moule, une fois scellé, la résine, précipitée et catalyseur, est injectée sous pression réduite à travers le renfort jusqu'à ce que la cavité soit complètement remplie [3].

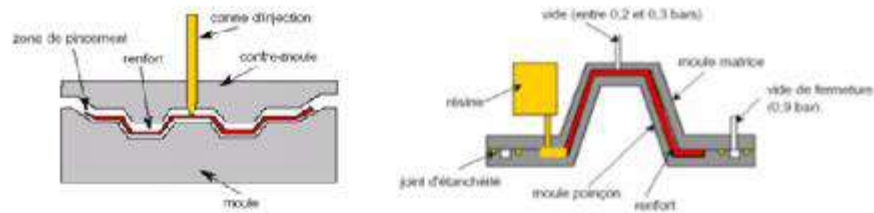


Figure I.18 : Principe de moulage par injection de résine[3].

I.5.5 Le moulage sous vide :

De nombreux processus de moulage utilisent le vide. Le principal avantage de ceci est qu'une pression très uniforme peut être appliquée à la pièce à faible coût [3]. Mais il présente également certains inconvénients, tels que des options limitées pour les taux de booste et le format utilisé par chaque processus. De plus, il est difficile de réaliser une coulée sous vide avec des moules de séparation [14].

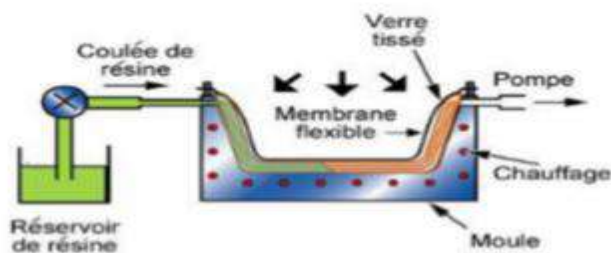


Figure I.19 : Méthode du moulage sous vide[3].

I.5.6 Le moulage par compression à chaud :

C'est un procédé de fabrication de pièces à partir de matériaux plastiques ou composites. Ce matériau peut être à base de thermoplastiques [14]. Ce procédé de mise en forme permet d'obtenir de grandes proportions de renforts, et donc d'obtenir des pièces avec de bonnes propriétés mécaniques. Il permet également d'obtenir des pièces en grands groupes à l'aide de presses hydrauliques et de matrices à chaud [3].

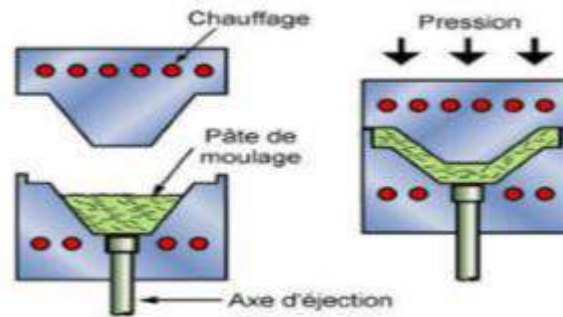


Figure I.20 : Méthode de moulage par compression à chaud[3].

I.6 Conclusion :

Au cours de ce chapitre, nous avons donné des informations générales sur les matériaux composites puis leurs classifications, notamment le classement selon le type de renfort utilisé. Nous nous sommes concentrés par la suite sur les composites à base de renforts naturels, appelés composés biosourcés. De plus, nous avons introduit les différents procédés d'extraction des fibres végétales et de fabrication des composites.

CHAPITRE II : Utilités des déchets de palmier dattier

II.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous parlerons de l'histoire du palmier dattier, outre sa répartition géographique dans le monde et en Algérie. Ainsi, nous analyserons les matériaux qui en sont extraits et leurs utilités dans le domaine industriel.

II.2 Histoire du palmier dattier

Le palmier dattier est l'un des arbres les plus anciens que l'humanité ait bénéficié. Ses origines se trouvaient dans l'ouest de l'Inde [19]. Répandu dans les endroits chauds, il est cultivé en Afrique du Nord et au Moyen-Orient. Aussi, il est retrouvé aux îles Canaries, dans le nord de la Méditerranée et la partie sud des États-Unis. C'est une plante sensible au froid, et elle pousse dans tout type de sol. Dans les régions au climat tempéré, il est cultivé en plein air, dans un endroit ensoleillé, et est également utilisé comme plante ornementale pour son aspect élancé et son feuillage [20].

Le palmier dattier est l'arbre fruitier par excellence dans le désert du Sahara où les deux jouent un rôle économique important grâce à la production de dattes qui sont à la base de l'alimentation humaine et animale.

De plus, il présente une source importante de différents matériaux employés dans la construction et la production de différents articles utilisés dans la vie quotidienne de l'homme.



Figure II.1 : Les palmiers dattiers.

II.3 Répartition géographique du palmier dattier

II.3.1 Dans le monde :

Le palmier dattier couvre cinq régions du monde dont : le Moyen-Orient, l'Afrique, la Méditerranée, l'Europe et l'Amérique du Nord [20]. Il est localisé principalement dans l'hémisphère nord entre les parallèles 10° à 35° notamment près du golfe Persique en Afrique du Nord et en Asie ainsi qu'en Amérique notamment en Californie (La vallée du Coatchella) où il a été introduit au 18ème siècle, en Espagne, avec sa palmeraie La célèbre à Elche, située à l'ouest d'Alicante à 39 degrés nord. Le palmier dattier est également cultivé à plus petite échelle au Mexique, en Argentine, aux Antilles et en Australie [21]. Les palmiers sont commercialisés dans le monde entier comme une précieuse culture de fruits sucrés. La culture de subsistance est considérée comme importante dans la plupart des régions désertiques du monde [19].

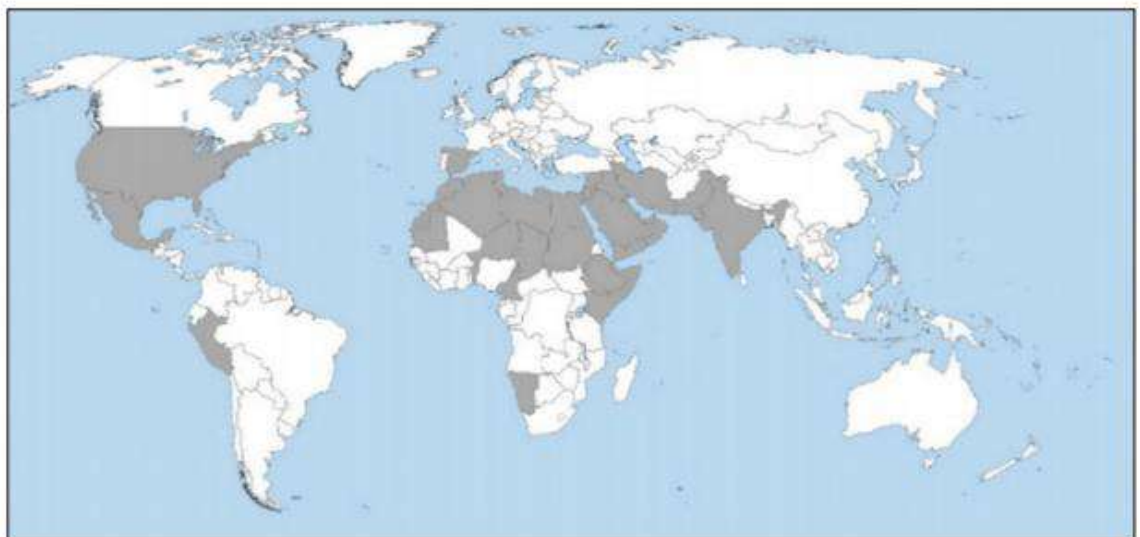


Figure II.2 : Répartition géographique du palmier dattier dans le monde[19].

II.3.2 En Algérie :

Selon les données du ministère de l'Agriculture et du Développement rural : les palmiers en Algérie couvrent une superficie de plus de 160 000 hectares avec une superficie de 18 millions de pieds. Bien que ce patrimoine soit réparti dans 17 Wilayas du pays, il est principalement concentré dans les Wilayas du sud-est et du centre-sud du pays. Biskra occupe la première place avec plus de 23% du patrimoine national, suivie de la wilaya d'Adrar avec près de 21% puis d'El Oued avec plus de 20% [20, 21].

Selon l'Institut international de recherche agronomique "Bioversity International", l'Algérie compte plus de 300 types de palmiers dattiers qui sont connus par leur nom par région. Les cultivars et reproductions de palmier dattier comprennent : Degla Nour, Al Ghars, Mesh Degla, Tentbusht, Arshti, Safriya, Degla Beda/Kunchi, Litima, Hamraya, etc. La plupart de ces variétés proviennent de deux régions principales : la région de Zibon (Biskra) et la région du M'zab [21].

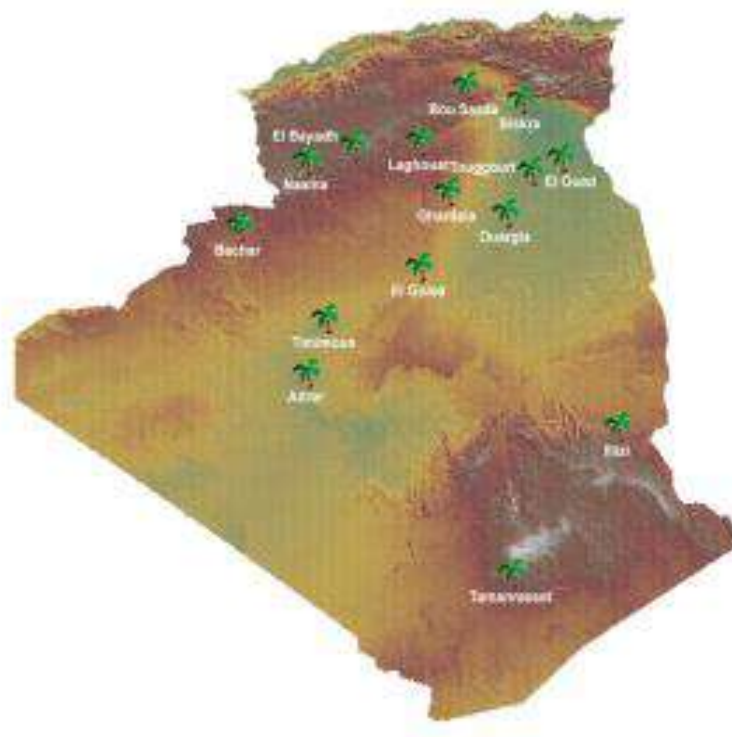


Figure II. 3 : Localisation des oasis au Sahara algérien[21].

II.3.3 Dans la wilaya de Biskra :

La superficie de la palmeraie dans la Wilaya de Biskra est de 23 820 hectares, constituée de 4 047 668 palmiers, soit 21% du patrimoine national du palmier dattier, assurant la production de 1 738 816 et la capacité de production du indiquez 77% du total; Le reste est constitué de jeunes palmiers, Dakar et palmiers à franges. Les oasis de palmiers à Biskra sont concentrées dans les zones indiquées sur la figure II.4.

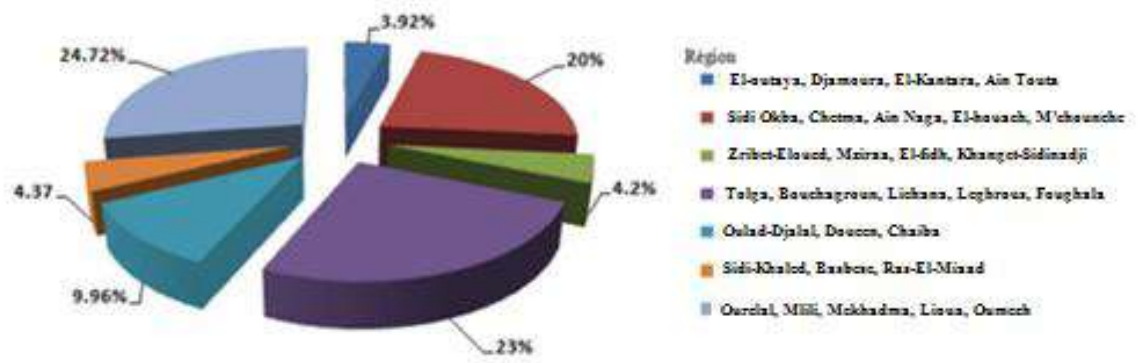


Figure II.4 : Répartition de palmiers dattiers dans région de Biskra[3].

II.4 Constitution du palmier dattiers :

II.4.1 Les Racines :

Notez que le système racine est de type packages. Ils ne se ramifient pas et n'ont qu'un porte-greffe relativement petit et le bulbe ou la plaque racinaire est massif, émergeant partiellement au-dessus du niveau du sol [22].

II.4.2 Le stipe ou tronc :

Il peut varier en fonction des conditions environnementales d'une même race. Ainsi, il a une structure très particulière, et est composé de vaisseaux disposés sans arrangement et plongeant dans un parenchyme fibreux [22].

Les bases de la paume sont appelées "la gousse", et la paume peut provoquer 17 rejets de la paume de par sa présence

II.4.3 Les Epines :

Des épines poussent de chaque côté de l'axe pour déchirer plus tard les folioles. Il occupe environ 28% de la longueur totale du palmier. Les épines peuvent mesurer jusqu'à 1 cm de long et pas plus de 24 cm d'épaisseur (Figure II.5) [23].

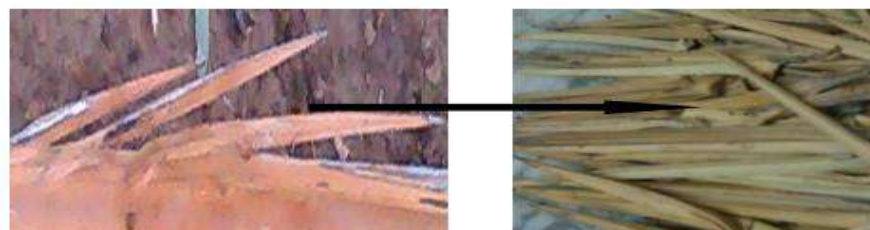


Figure II.5 : Les Epines[21].

II.4.4 Les Foliolles

Les folioles sont de petites feuilles dispersées des deux côtés de la paume. Ils ont une cuticule recouverte d'un revêtement cireux et une forme pointue aux extrémités. La partie occupée par les folioles représente 65% de la longueur totale du palmier, elle contient des folioles simples et des folioles groupées par deux, trois, quatre ou cinq. La longueur des folioles dépendent de la variété des palmiers, de l'entretien qu'ils ont subi et des conditions environnementales. Ces feuilles peuvent mesurer de 15 à 85 cm de long et de 1 à 6 cm de large (Figure II.6) [23].



Figure II.6 : Les Foliolles[21].

II.4.5 Les Spathes

Couvre l'inflorescence avant qu'elle ne se développe, qui se rompt mécaniquement lors de la maturation. Sac lenticulaire aplati sur les bords. Sa surface extérieure est brune, dure et polie, et l'intérieur est jaune et très lisse. La femelle est différente du mâle. Il est plus long et plus large que le mâle. On trouve alors des distances de 25 à 100 cm. En général, les palmiers mâles « Dakar » produisent plus d'œufs que les palmiers femelles (Figure II.7) [23].



Figure II.7 : Les Spathes[21].

II.4.6 Le Pétiole :

En arabe « Cornaf » c'est la partie palmaire cachée dans un fibreux, généralement large, de diamètre longitudinal pouvant atteindre 30 cm, et sa longueur varie entre 25 et 50 cm selon le type de palmier (Figure II.8). Le pédoncule contribue avec le fibrillium, renforce et protège la tige des dommages causés par les Animaux, les chocs extérieurs et contre le climat difficile [21].



Figure II.8 : Des pétioles secs[21].

II.4.7 Fibrillium :

En arabe « Alife » est une gaine de fibres entourant la pointe entre les bases des nageoires (Figure II.9). Il se compose d'une superposition de trois treillis, et a la forme d'une plaque presque rectangulaire d'une longueur de 300-500 mm et d'une largeur de 200-300 mm. Le rôle écologique des fibres de la surface du palmier est de renforcer le tronc et de protéger contre les chocs extérieurs et la chaleur du désert. Chaque paume peut se débarrasser d'environ 3 kg de fibrillium [21].



Figure II.9 : Le Fibrillium et son emplacement dans le palmier[21].

II.4.8 Les Grappes :

En arabe « Arjoun », il se compose d'un tronc principal qui se ramifie en pédoncules et les palmes sont issues de 6 à 20 grappes dont la taille varie de 25 à 200 cm. Il mesure 4 à 8 cm de long et de large et produit de 20 à 60 fruits (Figure II.10) [23].

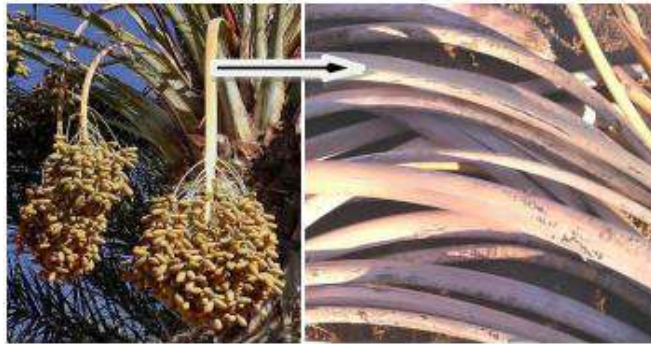


Figure II.10 : Les Grappes[21].

II.4.9 Composition chimique des constituants du palmier dattier :

Les principaux composants de la fibre de palmier dattier sont : la cellulose, l'hémicellulose, la lignine. Ils contiennent également d'autres produits tels que les protéines, la pectine, l'amidon et les sels inorganiques, mais en petites quantités. La composition chimique de la fibre dépend de son origine, mais l'élément cellulose prédomine toujours, en plus de l'hémicellulose et de la lignine en grande quantité. Ces composés sont des polymères hétérogènes qui présentent une grande diversité de composition chimique selon leur origine. Les composés inorganiques qui se distinguent par leur teneur en cendres varient également selon la nature des fibres. Les composants de la cellulose, de l'hémicellulose et de la lignine dans le bois de palmier diffèrent d'un groupe à l'autre (Tableau II.1).

Tableau II.1 : Composition chimique de quelques types de bois de palmier dattier.

	Folioles Type 1	Folioles Type 2	Rachis Type1	Rachis Type2	Fibrillum Type 1	Fibrillum Type 2	Pétiole	Tronc
Cellulose (%)	35	33.5	45	44	43	46	75.6	45
Hémicellulose (%)	28	26	29.8	28	8	18		23
Lignine (%)	27	27	27.2	14	35	20	16.8	/
Autres (%)	10	13.5	5	2.5	14	16	7.6	/

II.5 Domaines d'utilisation des déchets de palmier dattier

Les déchets de palmier dattier sont exploités dans les industries traditionnelles, par exemple, dans l'artisanat (avec la fabrication de chapeaux, paniers, tapis, parapluies, etc.) et dans la construction (structures de maisons). Ils sont également utilisés comme colonnes dans les ponts légers. Les tiges semi-creuses sont utilisées dans les canaux d'eau, les feuilles et les tiges sont également utilisées comme corde dans les travaux de fixation temporaires dans le jardinage (Figure II.11) [24].

Le tableau II.2 présente un résumé des utilisations courantes des différentes parties du palmier dattier.

Tableau II.2 : Utilisations de déchets du palmier dattier.

Déchet	Utilisation
Tronc d'arbre	dans l'ébénisterie traditionnelle, bois de chauffage, charpentes de maison.
Palmes sèches	clôture, brises vent, dans la confection des couffins, de chapeau, etc., en industrie de papier.
Les régimes de dattes	balais traditionnels, combustibles.
Le Lif	confection des semelles de sandales, cordes et filets, etc.
Les déchets des dattes	alimentation du bétail, Café.



Figure II.11. Quelques utilisations des déchets de palmier dattier[24].

II.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une compilation bibliographique relative aux différents composants des palmiers dattiers sélectionnés en renfort de notre étude. Nous avons commencé par faire connaissance avec le palmier dattier et ses utilités traditionnelles.

À la lumière de cette revue bibliographique, nous constatons que les déchets de palmier dattier présentent une riche source de matières premières cellulosiques abondantes et peu valorisées dans notre pays et dans le monde. En effet, l'entretien annuel du palmier dattier produit une énorme quantité de déchets constitués de plusieurs types de bois, à savoir : Bois, Fibrillium, Le Pétiole, Les Epines, Les Folioles, Le Rachis, Les Pédicelles, ... etc.

Chapitre III : : Elaboration et caractérisation du matériau

III.1 Introduction

La présentation de travail réalisé, dans cette étude, est composée de deux parties. La première partie est consacrée, en premier lieu, à la présentation des sources naturelles employées et des méthodes de préparation des matières issues de ces ressources. En deuxième lieu, nous présentons les méthodes d'élaboration du composite étudié. Cette partie apporte les informations nécessaires pour s'adapter au mieux à l'utilisation des ressources naturelles. Quant à la deuxième partie, elle est dédiée à la présentation des tests utilisés pour la caractérisation mécanique de ce nouveau matériau. Dans cette deuxième partie, l'analyse de l'influence de la constitution du matériau est discutée.

III.2 Présentation du matériau composite :

Les fibres végétales présentent une source renouvelable et écologique, contrairement aux fibres chimiques issues de ressources pétrolières qui sont de plus en plus rares et coûteuses sans oublier leur impact sur l'environnement.

III.2.1 Préparation des fibres de rachis :

Les matériaux utilisés dans l'élaboration du composite, étudié dans ce mémoire, sont essentiellement des renforts végétaux sous forme de fibres extraites du rachis de palmier dattier (**Figure.III.1**).



Figure III.1 : Rachis.

Ainsi, la préparation de cette ressource naturelle est articulée sur les étapes suivantes :

a) Elimination de lignine :

Le rachis à l'état initial est nettoyé des épines et des impuretés, puis hachée (**Figure III.2**). Il doit être prêt à être découpé en petits morceaux afin de pouvoir commencer la phase d'extraction des fibres.



Figure III.2 : Rachis découpé.

Le découpage en petits morceaux à l'aide d'un broyeur constitue la première étape d'extraction des fibres. Basée sur une procédure semi-automatique, le broyage massif permet l'élimination rapide de lignine (**Figure III.3**).



Figure III.3 : Broyage massif du rachis.

b) Broyage :

Le broyage des fibres a été effectué à l'aide d'un petit broyeur café et grains (Figure III.4) en utilisant différentes vitesses et à différentes périodes de temps afin d'obtenir différentes tailles de fibres.



Figure III.4 : Broyeur.

c) Tamisage :

L'objectif de cette étape consiste à classer les différentes tailles de fibre en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le mélange initial de fibres est placé en partie supérieure des tamis et le classement des fibres s'obtient par vibration de la colonne de tamis. Les masses des différents refus et tamisât sont rapportées à la masse initiale du matériau. On considère que le tamisage est terminé lorsque le refus ne varie pas de plus de 1 % entre deux séquences de vibration de la tamiseuse (Figure III.5).



Figure III.5 : Tamisage.

d) Lavage :

Les fibres obtenues après tamisage sont lavées manuellement en chauffant de l'eau distillée, en plaçant les fibres dans un linge (**Figure III.6**). Le but du processus de lavage des fibres est d'éliminer la poussière et toutes les impuretés coincées.



Figure III.6 : Lavage des fibres.

e) Séchage :

Après avoir lavé les fibres, nous les séchons en les plaçant dans un four électrique à $110\pm 1^\circ\text{C}$ jusqu'à ce que l'eau s'évapore complètement et que la masse de fibres se dépose (**Figure III.7**). L'objectif du procédé de séchage est de diminuer le plus rapidement possible la teneur en eau existante dans la fibre.



Figure III.7 : Séchage des fibres.

Un test a été effectué sur les différents échantillons pour contrôler le taux d'humidité dans les fibres en mesurant l'évolution du poids de chaque échantillon (selon le temps spécifié) à l'aide d'une balance interne de précision (0,001 g) tout au long de la processus de séchage.

La teneur en eau massique (taux d'humidité) de la fibre est égale à la masse d'eau comprise pendant le séchage par rapport à la masse anhydre (la masse sèche):

$$H \% = \frac{M_h - M_s}{M_h} \times 100 \quad (\text{III.1})$$

H% : pourcentage d'eau dans la fibre du rachis.

M_h : masse d'échantillon avant séchage.

M_s : masse d'échantillon après séchage.

Cette formulation est utilisée pour déterminer l'évolution du taux d'humidité pour chacune des échantillons étudiés. Les résultats obtenus sont présentés dans les tableaux [III.1](#), [III.2](#) et [III.3](#).

Tableau III.1 : Taux d'humidité pour taille 0.08 mm.

Temps [h]	M[g]	H	H%
0	19,229	0,7509	75,09
0.5	9,729	0,5077	50,77
1	5,189	0,077	7,70
1.5	4,819	0,0062	0,62
2	4,799	0,0020	0,20
2.5	4,789	0	0
3	4,789	0	0
3.5	4,789	0	0
4	4,789	0	0
4.5	4,789	0	0

Tableau III.2: Taux d'humidité pour taille 0.315 mm

Temps [h]	M[g]	H	H%
0	28,94	0,7993	79,93
0.5	16,503	0,7117	71,17
1	9,639	0,5401	54,01
1.5	7,273	0,3169	31,69
2	7,385	0,0239	2,39
2.5	7,044	0,0005	00,05
3	7,05	0	0
3.5	7,044	0	0
4	7,044	0	0
4.5	7,044	0	0

Tableau III.3: Taux d'humidité pour taille 0. 8 mm

Temps [h]	M [g]	H	H%
0	36,323	0,8009	80,09
0.5	19,366	0,6267	62,67
1	11,664	0,3802	38,02
1.5	8,177	0,1159	11,59
2	7,703	0,0615	6,15
2.5	7,649	0,0581	5,81
3	7,246	0,0023	0,23
3.5	7,229	0	0
4	7,229	0	0
4.5	7,229	0	0

La présentation, en figure, des résultats obtenus permet la comparaison de l'évolution du taux d'humidité le long du processus de séchage. On trouve, ainsi, que le séchage des fibres de petite taille dure moins que les autres mais, contrairement à la règle, le séchage de la taille moyenne dure le maximum de temps (**Figure III.8**). Cela peut être dû à la circulation difficile de l'air dans les ports des fibres, alors que pour la grande taille, l'échantillon comporte des ports plus grands qui favorisent la circulation de l'air.

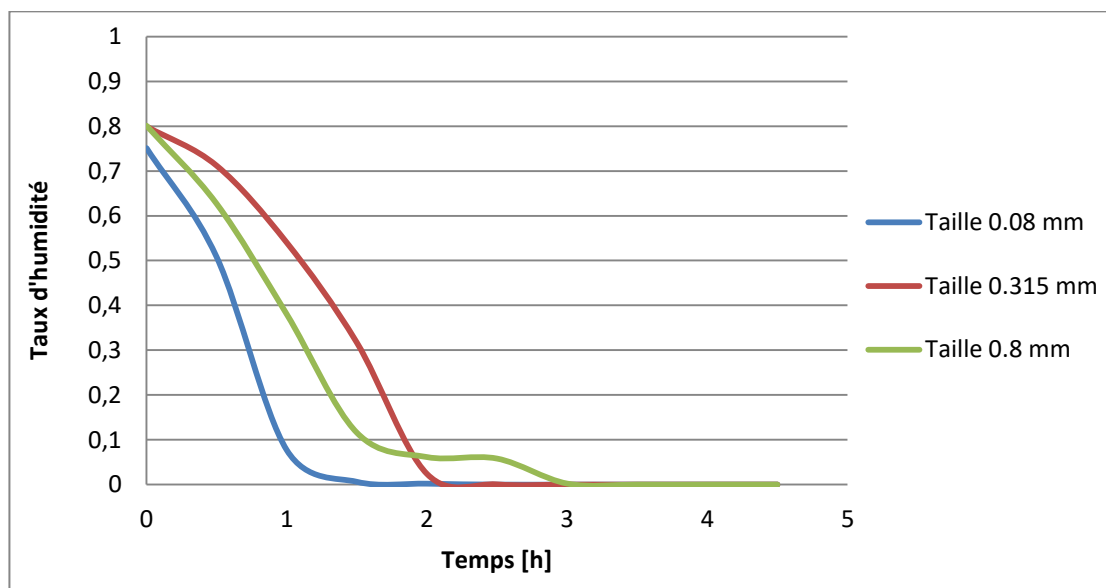


Figure III.8 : Courbe des taux d'humidité

III.2.2 Préparation de la matrice :

La matrice thermodurcissable utilisée, dans ce travail, est une résine époxyde bi-composant (**Figure III.9**), polymérisable à température ambiante, semi-rigide non chargée. La couleur du mélange est ambre. Sa densité est de 1.03 g/cm^3 . La préparation de la résine s'effectue à une température ambiante d'environ 30°C pendant 5 minutes. L'avantage de cette matrice est sa préparation facile, effectuée par le mélange résine/durcisseur. La durée de polymérisation s'adapte au climat tempéré.



Figure III.9 : Résine Epoxyde avec leur durcisseur.

III.2.3 Elaboration du composite :

Les matériaux composites sont réalisés pour différentes valeurs de fraction massique de fibre, déterminées par la relation suivante :

$$M_{\text{fibres}} = \frac{M_{\text{Tot}} \times \%}{100} \quad (\text{III.2})$$

$$M_{\text{Tot}} = \rho_{\text{époxyde}} \times V_{\text{moule}} \quad (\text{III.3})$$

$$M_{\text{Matrice}} = M_{\text{Tot}} - M_{\text{Fibre}} \quad (\text{III.4})$$

M_{Tot} , M_{Matrice} , M_{Fibre} : sont la masse totale, de la matrice, des fibres, respectivement.

% : Pourcentage de fibres (16%).

$\rho_{\text{époxyde}}$: densité époxyde est de 1.03 g/cm^3

V_{moule} : Volume de moule ($180 \times 160 \times 4 \text{ mm}^3$)

En utilisant cette formulation, nous obtenons les données suivantes :

$$V_{\text{moule}} = 180 \times 160 \times 4 \times 10^{-3} = 115.2 \text{ cm}^3$$

$$M_{\text{Tot}} = 1.03 \text{ g/cm}^3 \times 115.2 \text{ cm}^3 = 118.656 \text{ g}$$

$$M_{\text{fibres}} = \frac{118.656 \text{ g} \times 16}{100} = 18,98 \text{ g}$$

$$M_{\text{Matrice}} = 118.656 \text{ g} - 18,98 \text{ g} = 99.676 \text{ g}$$

Les panneaux de mélange époxy/fibre de rachis (EFR) sont formés manuellement à l'aide d'un moule en plastique de taille (180 x 160 x 4 mm). Ces panneaux sont fabriqués des matériaux composites avec des valeurs utilisant différentes tailles de fibres ; minimale (0,08 mm), moyenne (0,315 mm) et maximale (0,8 mm) à un pourcentage fixe de fibres (16%).

Après avoir calculé la masse des fibres à l'aide des relations précédentes, chacun des échantillons de fibres est préparée en utilisant une balance précise (Figure III.10).



Figure III.10 : Balance électronique.

Par ailleurs, Nous mélangeons l'époxy jusqu'à ce que les deux composants soient dissous l'un dans l'autre, puis nous prenons la quantité appropriée en utilisant la même balance (Figure III.11).



Figure III.11: Résine époxy.

La mise en œuvre du mélange fibres/époxy doit être exécuté rapidement car l'époxy durcit vite (**Figure III.12**).



Figure III.12 : Mélange fibres/époxy.

Le moule préparé, préalablement, à l'aide d'une plaque en plastique et d'un ruban adhésif avec les mesures mentionnées précédemment, reçoit le mélange avec des petites vibrations afin d'éliminer les bulles d'air (**Figure III.13**).



Figure III.13 : Moulage des plaques.

III.2.4 Préparation des éprouvettes :

Après le séchage des plaques dans l'air libre, on les démonte des moules tout en les distinguant à l'aide des codes mentionnant la taille des fibres employée (**Figure III.14**).

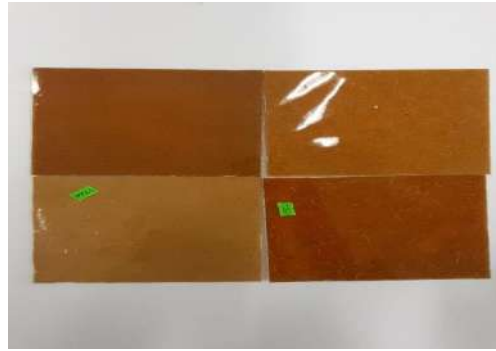


Figure III.14 : Plaques de composite.

Nous découpons les plaques de composite obtenues à l'aide d'une machine à découpe manuelle en petites plaques de 180 mm de long, 20 mm de large et 4 mm d'épaisseur. Ces petites plaques constituent les éprouvettes utilisées par la suite dans la phase de caractérisation des matériaux (**Figure III.15**).



Figure III.15: Découpe des éprouvettes.

III.3 Essais de flexion trois points :

III.3.1 Principe :

Le test de flexion détermine la capacité à déformer un échantillon sur deux supports avec une charge appliquée à mi-chemin entre les supports. Une déformation ou une déflection est imposée à une éprouvette standard à une vitesse de déformation constante, et la force que l'éprouvette oppose à cette déformation est mesurée.

La figure III.16 représente, en schéma, l'essai de flexion trois points ainsi que la mise en position de l'éprouvette.

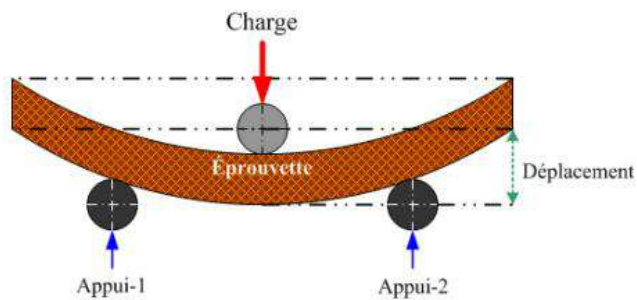


Figure III.16 : Flexion trois points.

Ce test permet de savoir le comportement mécanique du matériau testé, en particulier, la limite élastique et la contrainte de rupture. Aussi, il permet de déterminer le module d'élasticité en flexion.

III.3.2 Machine de Flexion :

La cintrreuse mécanique est constituée d'un châssis rigide à section fixe fixé au socle de montage sur lequel repose l'éprouvette. La plaque complémentaire de montage qui va presser l'échantillon est montée sur une traverse mobile. La figure III.17 représente la machine utilisée dans l'essai de flexion trois points.



Figure III.17 : Appareille universel d'essais mécaniques.

III.4 Résultats et discussion :

Les résultats de l'essai de flexion trois points sont présentés par les courbes de charge-déplacement. Les figures III.18, III.19 et III.20 présentent les résultats de la taille 0.08, 0.315 et 0.8 mm, respectivement.

Ces courbes comportent une partie linéaire relativement importante qui représente le domaine d'élasticité. Après ce domaine, il apparaît un deuxième domaine, plus ou moins, réduit et représente le domaine plastique et puis la courbe arrive à une chute de charge qui représente le point de rupture.

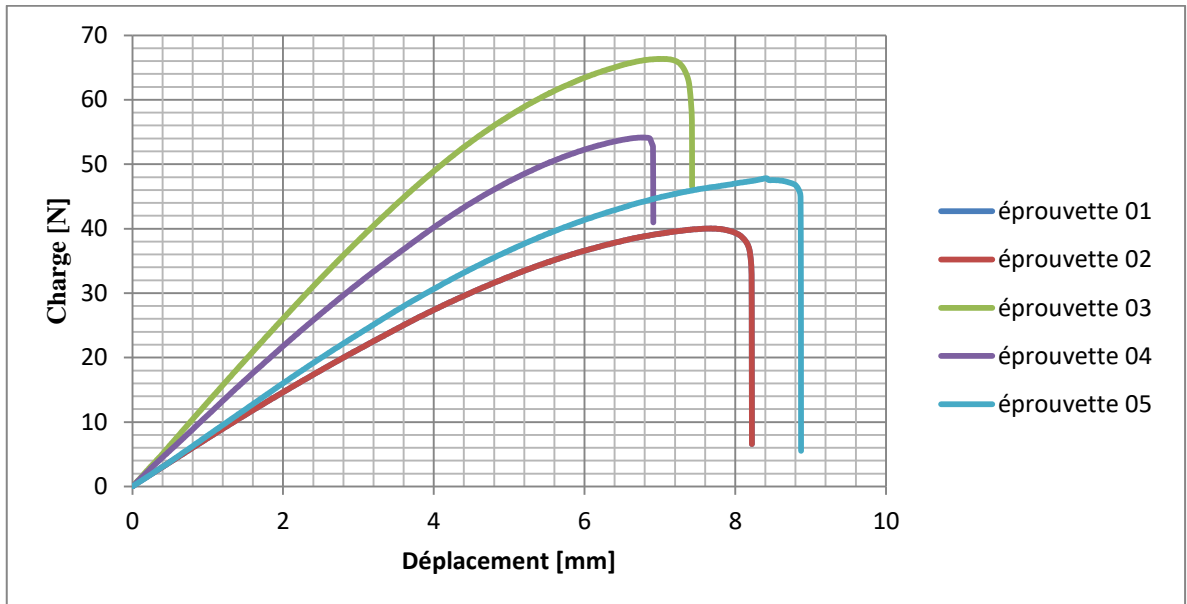


Figure III.18 : Résultats de l'essai pour la taille 0.08 mm.

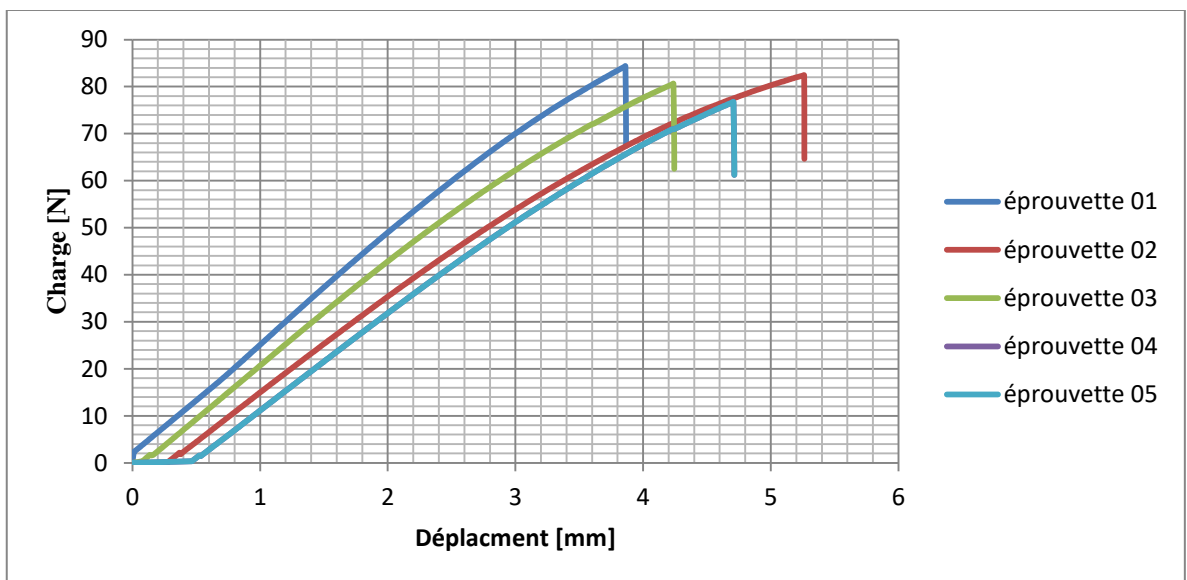


Figure III.19 : Résultats de l'essai pour la taille 0.315 mm.

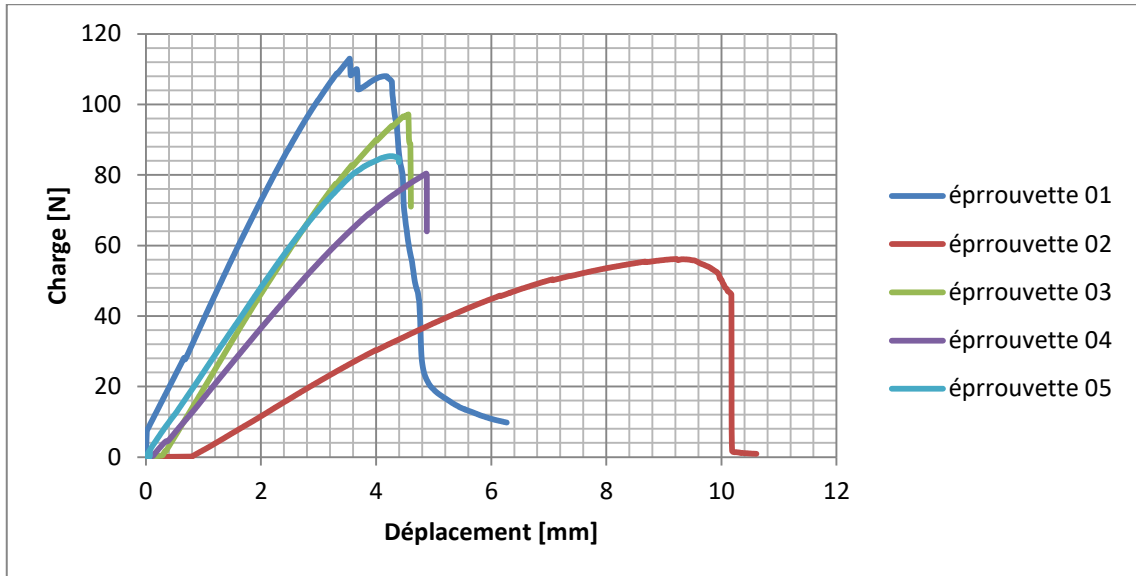


Figure III.20 : Résultats de l'essai pour la taille 0.8 mm.

La propriété mécanique que nous souhaitons tirer de cette expérience est le module d'élasticité en flexion (E_f).

Ce paramètre peut être calculé à partir du domaine linéaire de la courbe charge-déplacement. Il est proportionnel à la pente de ligne de courbe. Soit :

$$E_f = \frac{L^3}{4bh^3} \frac{\Delta F}{\Delta S} \quad (\text{III.5})$$

L: Portée [mm],

b : Longeur [mm],

h : Hauteur [mm],

F/S : Pente de la partie linéaire de la courbe Charge/Déplacement.

Les tableaux suivants représentent les résultats obtenus, pour toutes les éprouvettes, de chaque taille :

Tableau III.4: Caractéristiques des éprouvettes de taille 0.08 mm.

N° Eprouvette	L [mm]	b [mm]	h [mm]	F/S	E _f [MPa]
1	70	19.25	4.033	7.3608	499.8547
2	70	19.25	4.033	15.91	1080.411
3	70	19.23	3.933	13.07	957.9847
4	70	18.98	3.683	11.06	1000.202
5	70	19.35	3.3	7.9807	984.1297
				Moyen	904.5165
				Ecart	230.7829

Tableau III.5: Caractéristiques des éprouvettes de taille 0.315 mm.

N° Eprouvette	L [mm]	b [mm]	h [mm]	F/S	E _f [MPa]
1	70	19.267	4.433	37.92	1937.292
2	70	19.15	4.25	13.45	784.5504
3	70	19.2	4.333	22.206	1219.094
4	70	19.1	4.05	10.646	719.4857
5	70	19.183	4.133	11.13	704.7199
				Moyen	1073.028
				Ecart	527.2927

Tableau III.6 : Caractéristiques des éprouvettes de taille 0.8 mm.

N° Eprouvette	L[mm]	b [mm]	h [mm]	F/S	E _f [MPa]
1	70	19.233	4.485	37.92	1873.994
2	70	19.25	3.2	6.52	886.3414
3	70	19.183	4.55	22.206	1053.789
4	70	19.083	4.317	15.816	883.3605
5	70	19.283	4.633	21.144	945.4962
				Moyen	1128.596
				Ecart	422.3644

La figure III.21 présente les modules d'élasticité en flexion moyens des échantillons testés. On remarque d'après les diagrammes de cette figure, que le module d'élasticité varie d'une taille à l'autre. Il augmente progressivement avec l'augmentation de la taille des fibres. Cela démontre l'intérêt du renfort dans un matériau composite. Ainsi, l'utilité du matériau en question impose une valeur de l'élasticité bien déterminée et par conséquent une valeur limite de la taille des fibres employées.

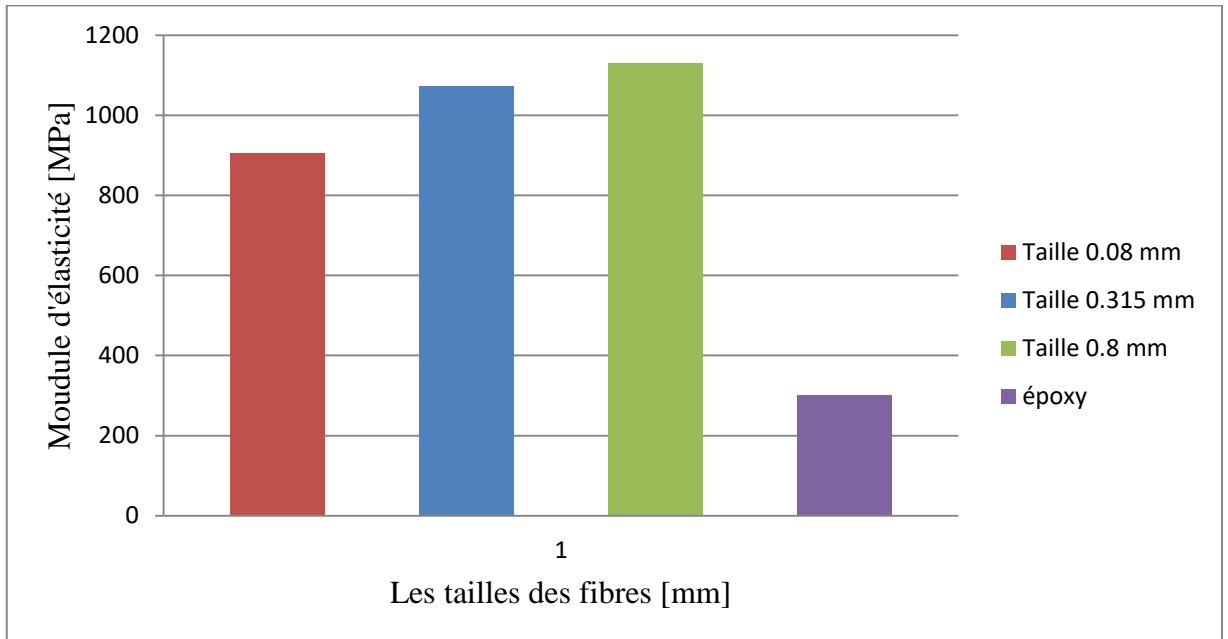


Figure III.21 : Comparaison des résultats.

III.5 Conclusion :

A travers les résultats obtenus, les propriétés mécaniques de différents matériaux composites à base de fibres de palmier dattier ont été identifiées. Il a été observé que la valeur du module d'élasticité d'un matériau à base de fibres de rachis (EFR) est améliorée. Par conséquent, on peut dire que l'emploi de ces fibres avec matrice époxy donne une très forte augmentation du module d'élasticité.

conclusion générale

Les déchets de palmier dattier sont une biomasse inépuisable disponible en Algérie et plus particulièrement dans notre région. La quantité énorme et croissante de ces déchets est générée lors de la récolte des dattes et de l'entretien annuel des palmiers. Le travail présenté dans ce mémoire vise à encourager la valorisation de cette quantité abondante de biomasse dans les industries locales.

Dans ce travail, nous avons présenté un matériau composite à basse d'une matrice époxyde et de fibres de rachis de palme de palmier dattier de différentes tailles en se basant sur une même fraction massique (16%). Le but été de discuté l'influence de la taille des fibres sur les propriétés mécaniques.

Les résultats obtenus, dans cette étude, ont permis de connaître des informations générales sur les matériaux composites, la composition chimique de la fibre, les utilisations des résidus de palme et le taux d'humidité en fibre. Ensuite, des essais mécaniques classiques (flexion trois points) ont été utilisés pour déterminer les propriétés mécaniques. Il a été observé que les valeurs de module d'élasticité en flexion des matériaux composites à base de fibres courtes de palmier dattier (fibres époxy/rachis) étaient améliorées. Les propriétés mécaniques obtenues sont intéressantes et une exploitation industrielle de ce matériau extrait du palmier est très possible grâce aux résultats obtenus.

Enfin, cette étude a permis d'approfondir les connaissances actuelles sur les fibres de palmier dattier. Ces connaissances doivent être encore enrichies et éclairée devant la communauté scientifique en montrant la faisabilité des biomatériaux à base de fibres de palmier et les limites de leur utilisation dans divers secteurs.

Références bibliographiques

- [1] MOUSSAOUI Anouar. Effet des traitements chimiques sur les propriétés mécaniques des composites polychlorures de vinyle/fibre de palmier. Mémoire de magister. Université Mohamed Khider de Biskra 2020.
- [2] Amaury Lepetit. Élaboration de matériaux composites à base de filaments de cellulose et de polyéthylène .Thèse de doctorat. Université du Québec à Trois-Rivières .30/08/2017
- [3] GOUDJIL Thamer Mohamed. Comportement d'un composite PP/ Fibres de palmier dattier à l'essai de traction . Mémoire de magister. Université Mohamed Khider de Biskra 2020.
- [4] NINOUH Lasaad. Caractérisation d'un bio-composite polypropylène/fibres de palmier dattier en flexion trois points. Mémoire de Maister. Université Mohamed Khider de Biskra 2019.
- [5] GORNET Laurent. Généralités sur les matériaux composites. Mémoire de magister. Engineering school.
- [6] Yosr BEN MLIK. Valorisation des fibres de kénaf dans des applications textiles et para textiles. Thèse de doctorat .Université de Monastir. Mémoire de magister 2008.
- [7] LEDAIN Olivier. Elaboration de matrices céramiques par un nouveau procédé hybride : imprégnation de poudres et CVI réactive. Thèse de doctorat. Université de Bordeaux, 2014. Français.
- [8] RAGOUBI Mohamed. Contribution à l'amélioration de la compatibilité interfaciale fibres naturelles/matrice thermoplastique via un traitement sous décharge couronne. Thèse de doctorat. Université Henri Poincaré Nancy 1 2010.
- [9] BEN JMEAA Abdelmajid. Elaboration, procédé et caractérisation des composites renforcés avec haute teneur en fibre de cellulose. Thèse de doctorat. Université du Québec en abitibi-témiscamingue 2019.
- [10] Djamilia BENMEDDOUR. Elaboration et caractérisation d'un matériau composite à base de fibre végétale : Application à la plante d'Alfa. Mémoire de magister. Université Djillali Liabes de Sidi Belabbes 2012.

Références bibliographiques

- [11] BEDDIAR Mohammed Ismail, HERAIZ Hocine. Élaboration et caractérisation des bio composites à matrice polyéthylène (PE) renforcées par des fibres végétales. Mémoire de magister .Université Mohamed Boudiaf - M'sila 2018.
- [12] PROMBUT Pongtorn. Caracterisation de la propagation de delaminage des stratifiés composites multidirectionnels. These de doctorat. Universite Toulouse III 2007.
- [13] YAICH Ghizlane et Chahud Jillali Zineb. Rapport à propos les composites et nanocomposites. Mémoire de magister. Université Hassan II 2019.
- [14] DJOUDI Tarek. Elaboration et caractérisation de composites bio-sources à base de fibres de palmier dattier. Thèse de doctorat. Université Mohamed Khider de Biskra 2019.
- [15] M BERGES Michae. Mécanismes de dégradation sous sollicitations hydro thermomécaniques de bio composites et renforts en fibres végétales : application au développement de mobiliers urbains ultralégers et mobiles. Thèse de doctorat. Université Bourgogne France 2018.
- [16] VIDIL Lisa. Etude de matériaux naturels 2D – Potentialités d'utilisation comme renfort de matériaux composites. Thèse de doctorat. Université DES Antilles 2019.
- [17] Vi Do Thi. Matériaux composites à fibres naturelles / polymère biodégradables ou non. Alimentation et Nutrition. Université de Grenoble. Thèse de doctorat. Université des Sciences Naturelles d'Ho Chi Minh Ville, 2011
- [18] OUSSAID Abdallah. Elaboration et caractérisation d'un nouveau matériau composite à base de PVC et de la farine de bois de chêne zen modifiée. Mémoire de magister. Université Mouloud Mammeri Tizi ousou 2016.
- [19] SELLAMI Hadjer. Etude de l'efficacité du composte de débris du palmier dattier et fiente de volaille sur le rendement de la tomate sous serre dans la région de Biskra. Mémoire de magister . Université Mohamed Khider de Biskra 2021.
- [20] HAMZAOUI Elhassen et SAADI Djamel. Etude de la diversité variétale de palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) cultivé dans la région de Biskra. Mémoire de magister .Université Mohamed Khider de Biskra 2021.

Références bibliographiques

[21] ALMI Kenza. Développement et caractérisation de matériaux à base du bois de palmier dattier adaptés aux applications de développement durable en Algérie. Thèse de doctorat. Université Mohamed Khider de Biskra. 18 / 04 /2018

[22] BELAROUSSI Mohamed EL Hafed. Etude de la production du palmier dattier (Phoenix dactylifera L.) variété Deglet Nour : cas des régions de Oued Mya et Oued Righ. Thèse de doctorat. Université Kasdi Merbah – Ouargla 2019.

[23] SEMATI KHALIL. Elaboration et caractérisation d'un composite unidirectionnel fibres naturelles-epoxy. Mémoire de magister. Université Mohamed Boudiaf - M'sila 2021 .

[24] DJEBLOUN Youcef. Contribution à la caractérisation des matériaux composites renforcés de fibres végétales. Thèse de doctorat. Université Mohamed Khider de Biskra 2018.

يسعى العديد من الباحثين للحصول على مواد غير مكلفة وصديقة للبيئة وذلك من خلال استخدام النفايات الطبيعية. إعادة تدوير هذه النفايات ستساعد في تكوين ثروة يمكن استخدامها بكفاءة اضافة الى الحفاظ على الغطاء النباتي و الحيواني والبيئة ككل. في هذا السياق تضمنت هذه الدراسة بحث تجريبي باستخدام الالياف النباتية عن طريق صنع صفائح مكونة من مواد مركبة باستخدام مصفوفة ايبوكسي مقواه بألياف مختلفة الأحجام مستخلصة من مخلفات نخيل التمر بنسبة ثابتة. أجريت الدراسة الميكانيكية من خلال تجارب الانحناء ثلاثي النقاط و التي أظهرت نتائج جيدة حيث تبين انه كلما تزايد حجم الألياف تزايدت قيم معامل المرونة.

الكلمات المفتاحية : المواد المركبة، الالياف الطبيعية، نخيل التمر، انحناء ثلاث نقاط، راتنجات اليبوكسي

Abstract:

Many researchers seek inexpensive and environmentally friendly materials through the use of natural waste. Recycling this waste will help create wealth that can be used efficiently in addition to preserving the vegetation and animal cover and the environment as a whole. In this context, this study included experimental research using plant fibers by making sheets of composite materials using an epoxy matrix and reinforced with fibers of different sizes extracted from date palm waste at a fixed percentage. The mechanical study was conducted through the three-point bending experiments. The results showed that as the fiber size increased, the values of the modulus of elasticity increased.

Keywords : Composite materials, natural fiber, date palm, three point bending, epoxy resin

Résumé :

De nombreux chercheurs prospectent des matériaux peu coûteux et respectueux de l'environnement grâce à l'utilisation de déchets naturels. Le recyclage de ces déchets contribuera à créer des richesses utilisables efficacement en plus pour préserver le couvert végétal et animal et l'environnement dans son ensemble. Dans ce cadre, cette étude a inclus une recherche expérimentale utilisant des fibres végétales en réalisant des plaques de matériaux composites à l'aide d'une matrice époxy renforcées de fibres de différentes tailles extraites de déchets de palmier dattier à pourcentage fixe. L'étude mécanique a été réalisée à travers les essais de flexion trois points. Cette étude a montré de très bons résultats. Ainsi, elle a montré que la taille des fibres a une relation proportionnelle avec l'élasticité. A fraction massique constante, cette dernière augmente avec l'augmentation de la taille.

Mots clés : les matériaux composites, fibre naturelle, palmier dattier, flexion a trois point, résine époxy