

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université M'hamed Bougara - Boumerdès



Faculté des Sciences
Département Génie de procédés

Domaine : Sciences et technique
Filière : Génie des procédés
Spécialité : Génie des polymères

**Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du
Diplôme de MASTER**

Présenté par :
**FERHAT HADDA
HAMADENE SOMIA**

Thème

***Elaboration d'un matériau composite thermodurcissable à
base résine polyester/fibres de verre /déchet de fibres de jute***

Date de soutenance le 8.07.2018, devant le jury

Président	N. Belloul	Maître de conférences	A	UMBB
Examineur	N. Ouslimani	Maître de Conférences	B	UMBB
Promotrice	B. Boubekeur	Maître de Conférences	B	UMBB

Remerciements

*Ce travail a été réalisé à une société Algérienne de Véhicules Industriels
(SNVI) Réghaia Industrielle*

*Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à mon encadreur
BOUBEKEUR .Bahia pour les conseils et le soutien qu'elle m'a accordé
durant ce travail, malgré toutes les difficultés rencontrées durant la
réalisation de ce mémoire. Je la remercie de m'avoir fait confiance, de
m'avoir guidé au long de cette période*

*J'adresse mes sincères remerciements à Mbeloule Maître de
conférences à l'université de Boumerdes pour sa disponibilité et ses
précieux conseils.*

Je remercie tous les membres de mon jury.

*Un grand remerciement aux différentes personnes du l'Unité de
Recherche Matériaux Procédés et Environnement (UR-MPE) de
l'Université de Boumerdès.*

*Je, mes remerciements vont à tous mes collègues, ainsi qu'à toute
personne ayant contribué de près ou de loin à ce modeste travail.*

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail :

*À l'étoile de ma vie celle que je vois jour et nuit, et je parle bien
sure de ma mère symbole de patience de tendresse et d'amour
celle qui a été toujours là pour moi.*

*À la lune de ma vie, mon très cher père, qui a toujours fait
preuve d'amour et de courage, pour m'assurer une bonne
éducation. Qu'il puisse jouir de ce qui a été le fruit de ses
sacrifices.*

*Je dédie également ce mémoire à ceux qui ont été toujours
présents et à tout moment :*

Mon marié ossama

Mes sœurs hana ,chaima

Mes frères bilal , hamza

A tous ma famille.

A tous mes amies de l'enfance à université.

*Je dédie enfin ce travail à toute personne ayant contribué de
près ou de loin à sa concrétisation, et à toute la promotion génie
des polymères 2018/2019*

somia

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail :

*À l'étoile de ma vie celle que je vois jour et nuit, et je parle bien
sure de ma mère symbole de patience de tendresse et d'amour
celle qui a été toujours là pour moi.*

*À la lune de ma vie, mon très cher père, qui a toujours fait
preuve d'amour et de courage, pour m'assurer une bonne
éducation. Qu'il puisse jouir de ce qui a été le fruit de ses
sacrifices.*

*Je dédie également ce mémoire à ceux qui ont été toujours
présents et à tout moment :*

Mon marié mohamed amine

Mes sœurs wafa ,feriel

Mes frères fahim ,firase

A tous ma famille.

A tous mes amies de l'enfance à université.

*Je dédie enfin ce travail à toute personne ayant contribué de
près ou de loin à sa concrétisation, et à toute la promotion génie
des polymères 2018/2019.*

hadda

Sommaire

<i>Sommaire</i>	<i>Pages</i>
Remerciement	
Dédicaces.....	
Liste des figures.....	
Liste des schémas.....	
Introduction générale.....	1

Etude BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I : Matrices et renforts

I.1. Introduction.....	3
I.2. Les fibres végétales	3
I.2.1. Origine des fibres végétales	3
a) l'organe de la plante	3
b) La teneur en holocellulose et en lignine.....	3
c) La longueur.....	3
I.2.2. Présentation de quelques fibres végétales	4
a) Abaca.....	4
b) Kénafe.....	4
c) Jute	5
d) Sisal.....	5

Sommaire

I. 2.3. Structure des fibres végétales.....	6
I.2.4. Composition chimique des fibres végétales	6
a) La cellulose	6
b) L'hémicellulose.....	7
c) La lignine	7
d) Les Pectines.....	8
e) La cire	8
I.2.5. Propriétés des fibres végétales.....	9
a) Propriétés mécaniques.....	9
b) Propriétés hydrophiles.....	9
c) Performance d'isolation thermique.....	9
d) La densité.....	9
e) Résistance thermique.....	9
I.2.6. Les avantages et les inconvénients des fibres végétales.....	10
I.3. Les fibres synthétiques.....	10
I.3.1. Généralité.....	10
I.3.2. Les fibres de verre.....	10
I.3.3. Fibres de carbone.....	11
I.3.4. Fibres d'aramide.....	11
I.4. Les matrices.....	12
I.4.1. Définition.....	12
I.4.2. Les principales familles des matrices.....	12
I.4.2.1. Matrices thermoplastiques (TP)	12
I.4.2.2. Matrices thermodurcissables (TD).....	13
I.5. Résines polyester insaturées.....	13
I.5.1. Synthèse et formulation des résines polyester.....	14
a) Le principe	14
b) Polymérisation de la résine polyester insaturée.....	15
I.5.2. Additifs.....	15
I.5.3. Le catalyseur.....	15
I.5.4. Accélérateur/promoteur (OC ₆)	16

Sommaire

Chapitre II : Les matériaux composites

II.1. Introduction	17
II.2. Les composites.....	18
II.2.1. Matériaux composites à matrice polymérique et renfort fibres végétales.....	18
II.2.2. Procédés de mise en oeuvre des matériaux composites.....	18
II.2.3. Paramètres affectant les propriétés des composites à renfort fibres végétales..	20
II.2.4. Influence de la nature et de la quantité des constituants.....	20
II.2.5. Influence de l'humidité et de l'absorption d'eau.....	21
II.2.6. Effets de la dispersion et de l'orientation des fibres.....	22
II.2.7. Influence de l'adhésion fibre-matrice.....	23
II.2.8. Applications des matériaux composites à renfort fibres végétales.....	24

CHAPITRE III. Matériel et méthodes expérimentales

III.1. Introduction	25
III.2 .Produits utilisés.....	25
III.2.1 La résine.....	25
III.2.2 La Fibre de verre.....	26
III.2.3 Fibre de Jute.....	26
III.3. Elaboration des composites.....	28
III.4 .Mode expérimentale d'élaboration des composites.....	29
III.5 Composition des composites.....	29
III.6 Caractérisation des composites.....	30
III.6.1 Propriétés physique.....	30
III.6.1.1 Mesure de la densité	30
III.6.2 Propriétés mécaniques.....	31
III.6.2.1 Essais de traction.....	31
III.6.2.2 Essai de flexion trois points	31
III.6.2.3 La résistance au Choc (Charpy)	32
III.6.4 Absorption d'eau.....	33

Chapitre IV. Résultats et discussions

IV.1. Propriétés physiques	34
IV.1.1. Influence de fibres de jute sur la densité des composites résine/fibre de verre	34
IV.2. Essais mécaniques.....	34
IV.2.1 Essais de traction.....	36

Sommaire

IV.2.2. Test de flexion.....	36
IV.2.3. Test de choc.....	38
IV.2.3.1. Essai de vieillissement.....	38
VI.4.1. Evolution d'absorption d'eau.....	39
Conclusions.....	42

Liste des figures

Liste des figures	Pages
Figure I.1. Fibre d'abaca.....	4
Figure I.2. Fibre de Kénafe.....	4
Figure I.3. Fibre de Jute.....	5
Figure I.4. Fibre de sisl.....	5
Figure I.5. Organigramme des principales familles des matrices.....	12
Figure I.6. Molécule de catalyseur P MEC, sous forme de monomère (a) Ou dimère	16
Figure III.1. La fibre de verre sous forme de mat.....	26
Figure III.2. Les fibres de jute (a)et (b).....	27
Figure III.3. Processus d'élaboration des composites.....	28
Figure III.4. Méthodes de caractérisation des composites.....	30
Figure IV.1 Module de Young des différents composites.....	35
Figure IV.2. Variation de la déformation de différents composites.....	35
Figure IV.3. Variation de force de différents composites.....	36
Figure IV.4. Variation de module de Young en flexion de différents composites.	37
Figure IV.5. Variation de la contrainte de différents composites.....	37

Liste des figures

Figure IV.6. Variation de déformation de différents composites.....	38
Figure IV.7. Variation de la résistance au choc (Charpy) de différents composite	38
Figure IV.8. Variation de la résistance au choc (Charpy) de différentes formulations.....	39
Figure IV.9. Variation du taux d'absorption d'eau des composites résine polyester/Jute/Fibres de verre à 300et 450 g/m ²	40
Figure IV.10. Variation de taux d'absorption d'eau des composites Polyester /Fibre de verre à 300et 450 g/m ²	40
Figure VI.11. Variation du taux d'absorption d'eau de Polyester et Polyester/Jute à 300et 450 g/m ²	41

Liste des schémas

Liste des schémas	Pages
Schéma I.1. Structure d'une fibre végétale.....	4
Schéma I.2. Structure de la cellulose	4
Schéma I.3. Structure de la lignine	5
Schéma I.4 Structure de la pectine.	19

Liste des tableaux

Liste des Tableau	Pages
Tableau I.1. Avantages et inconvénients des résines polyester	14
Tableau III.1. Caractéristiques de la résine «NORSODYNE® H 84233L (Document Polynt composites)	25
Tableau III.2. Lespropriétés physico-chimiques de la fibre de jute.	27
Tableau III.3. Les formulations réalisées	29
Tableau IV.1. Densité des composites	34

Introduction générale

Introduction générale

L'industrie des matières plastiques figure parmi les plus importantes activités industrielles chimiques en termes de quantité et diversité des secteurs d'application. La consommation européenne en plastiques fait une part importante dans l'élaboration des composites destinés aux secteurs de l'emballage, bâtiments et de l'automobile etc.

Un matériau composite peut être défini comme l'assemblage de plusieurs matériaux non miscibles pour former un nouveau matériau qui possède des propriétés que les éléments seuls ne possèdent pas. Ce matériau est constitué d'un renfort ou ossature qui permet la tenue mécanique et d'une matrice plastique (résine thermoplastique ou thermodurcissable) qui assure la protection chimique du matériau et transmet les efforts vers le renfort.

Les composites de première génération élaborés par le renforcement des polymères avec de la fibre de verre ou de carbone sont de nos jours très critiqués suite à la prise de conscience environnementale représentent une véritable source de nuisance visuelle, d'encombrement des décharges, pollution des sols et des milieux maritimes. Ces fibres minérales sont non dégradables, couteuse et abrasives[1-2]. Ainsi, les nouvelles recherches ont développé de nouveaux matériaux respectueux de l'environnement basés sur les ressources naturelles[3]

Une des stratégies qui pourrait permettre de résoudre ces problèmes environnementaux, les chercheurs ont porté beaucoup d'intérêt aux renforts naturels issus du monde végétal (fibres naturelles). Les fibres naturelles comptent de nombreux avantages comparées aux fibres synthétiques. Les fibres naturelles telles que le jute, le lin, le chanvre et le ramie sont biodégradables, recyclables, moins couteuses, ont une faible densité et sont non toxiques. Elles sont renouvelables, affichent une force et une rigidité relativement élevées et causent moins d'irritations de la peau. De plus leur dégradation dans l'environnement n'émet pas de gaz toxiques[4-5].

L'objectif de notre étude est de valoriser un déchet végétal « le jute » issu de l'industrie de tapis dont l'élaborer d'un matériau composite résine/fibre de verre, résine/fibre de jute et résine/fibre de verre, jute. L'incorporation de fibres végétales dans les résines est dans le but d'obtenir de nouveaux bio-matériaux avec de meilleures propriétés

Introduction générale

mécaniques ainsi plusieurs travaux ont été réalisés sur l'élaboration de composites dits écologiques ayant de meilleures propriétés tels que les résines époxy/fibres de coco [6], résine époxyde/jute, verre [7], résine polyester/jute, verre [8], etc.

Le présent travail a été réalisé en deux étapes. En premier lieu, des mats de jute ont été préparés par un tissage de fibre de jute. Par la suite des formulations de différentes compositions (résine, résine/mat de verre, résine/mat de jute, résine/mat de verre, de jute ont été élaborées. Leurs propriétés mécaniques, structurales ont été caractérisées. Les matériaux ainsi obtenus ont fait l'objet d'essais d'absorption d'eau.

Le manuscrit comprend trois Chapitres.

- Les deux premiers chapitres sont consacrés à la recherche bibliographique concernant les renforts, les matrices et les composites,.
- Dans le troisième chapitre porte sur les matériaux utilisés (résine polyester insaturée, fibres de verre, fibres de jute), les méthodes de préparation de mat de fibres de jute, méthodes d'élaborations des composites à base de fibres de jute et fibres de verre et, enfin, les différentes techniques expérimentales sont présentés.
- Le quatrième chapitre est consacré à la présentation et la discussion des résultats obtenus.
- Enfin une conclusion générale est donnée.

I. LES RENFORTS

I.1. Introduction

Un renfort constitue l'ossature supportant la majorité des efforts mécanique. Il peut être classé selon : la composition (métal, verre, polymère, fibre de verre, fibre de lin, fibre de bois...etc.), la forme (courte, longue ou continue) ou la disposition (mat ou tissé) [9].

Les fibres végétales sont de plus en plus utilisées en substitution des fibres de verre en tant que renfort de matériaux composites. En fait, celles-ci offrent une alternative judicieuse d'un point de vue environnemental et mécanique [10]. Parmi ces fibres, on trouve les fibres de sisal, de jute, de lin, de ramie, de chanvre et noix de coco, elles sont les plus utilisées grâce à leur disponibilité et leur prix relativement bas. Ces fibres ont une résistance mécanique extraordinaire et des propriétés spécifiques qui leur donnent une bonne qualité pour le renforcement des composites à haute performances et d'autres applications [11].

La connaissance des propriétés des renforts végétale (la densité, taux de cellulose, angle microfibrillaire, taux d'adsorption d'humidité...) est indispensable afin de relier la structure de ces charges à leurs propriétés dans les matériaux [12].

I.2. Les fibres végétales

I.2.1. Origine des fibres végétales

Les fibres végétales sont classées selon plusieurs critères :

a) l'organe de la plante

Elles proviennent de 4 grandes origines dans les plantes, elles peuvent être classées en fibres de tiges ou troncs (le bambou, Jute, Lin, palmier dattier), de feuilles (Sisal, Abaca), de fruits (Noix de Coco) et de graines (Coton) [13].

b) La teneur en holocellulose et en lignine

On peut distinguer les fibres ligneuses qui sont dures et rigides provenant de matériaux ligneux tels que le bois) et les fibres non ligneuses, douces, souples, moins riches en lignine tels que le kénaf, le chanvre, le sisal, le jute et le lin) [14].

c) La longueur

Les fibres végétales peuvent être classées en deux catégories ; les fibres longues et les fibres courtes. Les fibres longues, provenant de tiges et d'écorces de tiges de plante annuelles, sont douces. Par contre, les fibres longues ligno-cellulosiques issues

Chapitre I : Matrices et renforts

de feuilles, de tronc d'arbres, d'enveloppe de fruits, etc., sont plus dures et rigides du fait de leur richesse en lignine. Les fibres courtes ou étoupes sont des fibres lignocellulosiques qui sont associées aux fibres longues [15 , 16].

I.2.2. Présentation de quelques fibres végétales

a) Abaca

L'Abaca ou chanvre de Manille est un bananier textile (Musacées) qui pousse aux Philippines. Les fibres dans les gaines foliaires forment un pseudo tronc très recherché pour la fabrication de cordages légers et insubmersibles, pour des rabanes, des nappes, des stores ou des vêtements.

La fibre d'Abaca a une longueur de 6 mm pour un diamètre de 22 μm . Elle est utilisée principalement dans la composition des papiers filtres des sachets de thé. Ce sont des papiers poreux demandant une bonne résistance, en particulier au déchirement[17].



Figure I.1. Fibre d'abaca[17].

b) Kénaf

Le kénaf est une plante herbacée dont la tige peut atteindre 3 m de haut. Il se trouve principalement dans les régions tropicales et en Amérique du Sud. La production de Kénaf en Europe est rare. Elle est destinée uniquement pour le domaine papetier. Le rendement en fibre atteint près de 10 t/an/ha. La longueur moyenne des fibres (1,5 mm) est comprise entre celle des fibres de feuillus et celle des fibres de résineux [17].



Figure I.2. Fibre de Kénaf. [17].

c) Jute

Le jute est une plante buissonnante originaire du sud-est asiatique. Les principaux producteurs sont l'Inde et le Bangladesh. Le rendement en fibres est de 2 t/ha/an. Les fibres utilisées en papeterie sont les déchets de culture et de filature. La longueur moyenne des fibres est de 2 mm, avec une largeur de 20 μm . Les caractéristiques de ces fibres sont généralement assimilées à celles du kénaf[17].



Figure I.3. Fibre de Jute[17].

d) Le sisal

Le sisal est une plante vivace constituée par une rosette de grandes feuilles à section triangulaire allant jusqu'à 2 m de long. Il s'agit d'une plante tropicale, principalement cultivé en Amérique du sud et en Afrique. La longueur moyenne de ces fibres est de 3 mm [17].



Figure I.4. Fibre de sisal[17].

Chapitre I : Matrices et renforts

I.2.3. Structure des fibres végétales

Une fibre végétale est composée de plusieurs parois. Ces parois sont formées de microfibrilles cristallines à base de cellulose reliées par la lignine et l'hémicellulose amorphe. L'enchaînement des unités constitutives de la cellulose induit une rigidité des chaînes qui, alliée à la grande régularité des enchaînements et au développement des liaisons hydrogènes inter- et intra-chaîne est particulièrement favorable à une cristallinité élevée. La formation de zones cristallines très cohésives est responsable de l'essentiel des propriétés physiques et chimiques de ce matériau [18].

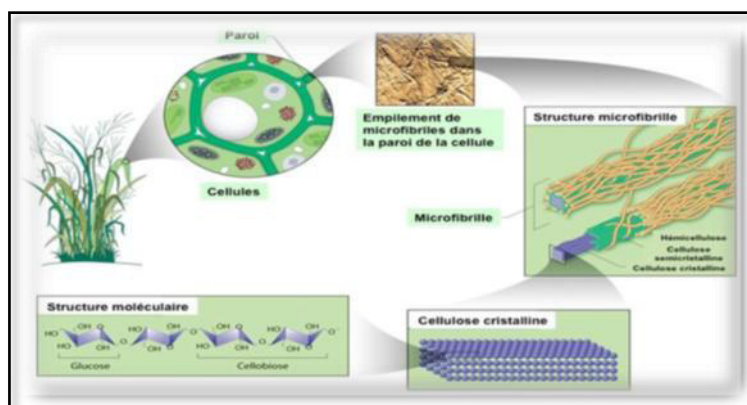


Schéma I.1. Structure d'une fibre végétale [19].

I.2.4. Composition chimique des fibres végétales

a) La cellulose

La cellulose est le constituant principal de toutes les fibres végétales, son taux varie de 17% à 99%. C'est la molécule organique naturelle la plus abondante sur la terre. Elle est constituée par un enchaînement de monomères cellobiose formé de deux molécules de β -glucose. La longueur du motif est d'environ 10,3 Å. Elle possède des hydroxyles (OH) libres, une liaison β (1 – 4) et une conformation chaise pour garantir une meilleure stabilité. Les groupements terminaux de la cellulose sont des fonctions alcool et aldéhyde [20 ,21].

Chapitre I : Matrices et renforts

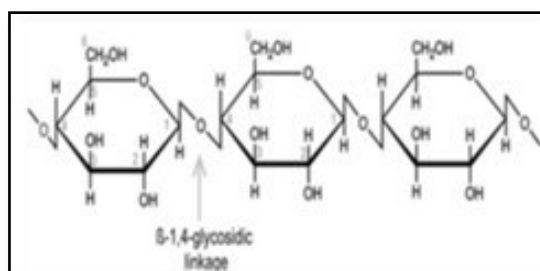


Schéma I.2. Structure de la cellulose [22].

b) L'hémicellulose

L'hémicellulose est le deuxième composant d'une paroi pectocellulosique chez les végétaux, après la cellulose. Elle a un rôle de pontage entre les fibres de cellulose. Ils sont des polysaccharides complexes de faible poids moléculaire soluble en milieu alcalin. L'hémicellulose diffère de la cellulose en trois aspects importants [23] :

- ✓ L'hémicellulose contient plusieurs unités de sucres différentes, alors que la cellulose ne contient que l'unité de 1,4- β -D glucoopyranose ;
- ✓ Elle présente un débranchement considérable de la chaîne, par contre la cellulose est un polymère linéaire ;
- ✓ Le degré de polymérisation de la cellulose native est de 10 à 100 fois supérieures à celui de l'hémicellulose [24].

c) La lignine

La lignine est un polymère phénolique amorphe, provenant de la polymérisation radicalaire de trois alcools phenylpropénoïques dont la structure dépendant de l'espèce végétal : l'alcool coumarylique, l'alcool coniférylique et l'alcool sinapylique[24,25]. A l'inverse de la cellulose, la lignine ne comporte pas des motifs répétitifs et possède une grande diversité de liaisons intermonomériques[21]. La lignine est responsable de la rigidité et de la dureté des plantes, peu sensible à la dégradation biologique [26].

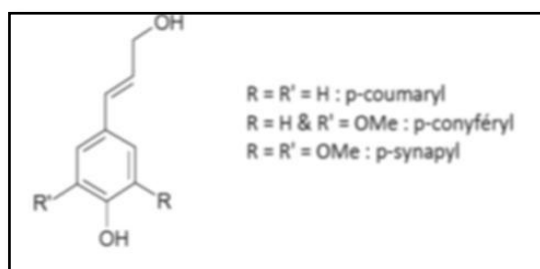


Schéma I.3. Structure de la lignine [27].

Chapitre I : Matrices et renforts

d) Les Pectines

Les substances pectiques sont présentes dans des proportions variées dans la plupart des végétaux supérieurs. Elles jouent le rôle de ciment intercellulaire et contribuent à la cohésion des tissus végétaux. Les pectines sont des macromolécules glucidiques composées essentiellement de l'acide galacturonique. Cependant, d'autres sucres sont également présents tels que le β -D – galactose, le β -D–glucose, le α -L–arabinose, le β -D–xylose, le α -D–fucose et le β -L–rhamnose[28,19].

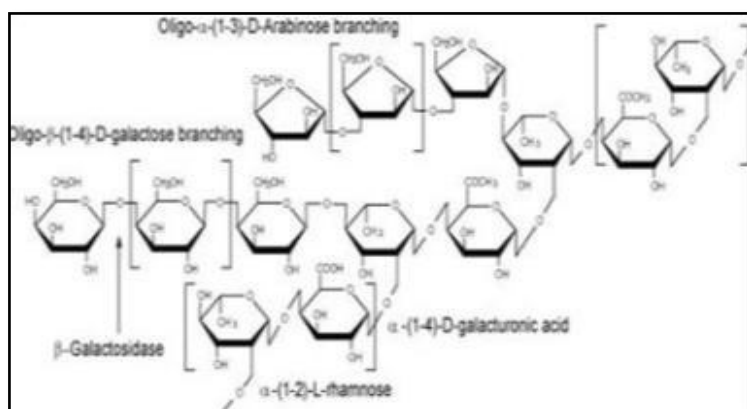


Schéma I.4. Structure de la pectine [29].

e) La cire

La cire est une partie des fibres qui peut être extraite avec une solution organique. Elle est constituée de différents types d'alcools, lesquels sont insolubles dans l'eau et se gonflent dans plusieurs acides. Les cires ont plusieurs fonctions, comme la protection physique contre des conditions environnementales défavorables et des insectes. Les structures peuvent être très complexes, mais parmi les lipides les plus courants se trouvent les hydrocarbures (C21-C35), les esters de cire, les cétones, les alcools et les acides gras [24].

I.2.5. Propriétés des fibres végétales

a) Propriétés mécaniques

Les propriétés mécaniques des fibres végétales sont induites par leurs caractéristiques (composition chimique, structure, type de défibrage, taux d'humidité, localisation des fibres dans la tige, défauts naturels, conditions de croissance, etc.). Globalement, même s'il existe des variations inter-espèces, le module d'Young des fibres végétales est similaire à celui des fibres de verre et les propriétés spécifiques rapportées à la densité sont meilleures que celles du verre [30].

b) Propriétés hydrophiles

Les hémicelluloses, la cellulose et la pectine présentent de nombreux groupements hydroxyles attribuant aux fibres végétales, ce caractère hydrophile favorise l'absorption d'eau. Le taux d'humidité des fibres végétales est une caractéristique importante à prendre en compte puisqu'il peut modifier les propriétés de la fibre et perturber les procédés de mise en forme [30].

c) Performance d'isolation thermique

Concernant la conductivité thermique, aucune n'a été réalisée sur les performances d'isolation propre à chaque fibre végétale. En revanche, des résultats mettent en évidence un lien existant entre la porosité des fibres et leurs propriétés thermiques. La notion de résistance thermique est importante, elle traduit les performances d'isolation d'un matériau. Il a été constaté des niveaux de résistance thermique très intéressants pour les matériaux isolants à base de fibres végétales [31].

d) La densité

La densité des fibres végétales est de 1,5 soit près de 2 fois moins que celle du verre. Cette propriété en fait une matière de choix dans l'industrie des transports [31].

e) Résistance thermique

La dégradation thermique est induite par augmentation de la température qui va modifier la composition chimique des fibres végétales et qui va affecter leurs performances. Les facteurs de variation de cette dégradation sont la température et la durée d'exposition. La faible stabilité thermique ($<200^{\circ}\text{C}$) des fibres végétales est une caractéristique intrinsèque importante à prendre en compte pour leur utilisation [31].

I.2.6. Les avantages et les inconvénients des fibres végétales

Les principaux avantages des fibres végétales sont les suivants [19] :

- ✓ Faible densité ;
- ✓ Faible coût ou coût modéré ;
- ✓ Issus des ressources renouvelables ;
- ✓ Faible consommation d'énergie pour leur production ;
- ✓ Biodégradables ;
- ✓ Stock disponible important ;
- ✓ Découpage et usinage faciles.

Grâce à un compromis idéal rigidité/résistance/légèreté, les composites renforcés par des fibres végétales concurrencent efficacement les matériaux traditionnels incorporant des charges ou fibres minérales. Par contre, à ces avantages sont associés les inconvénients suivants [19] :

- ✓ Fibres hydrophiles ;
- ✓ Stabilité thermique limitée ;
- ✓ Gonflement de fibres ;
- ✓ Propriétés non constantes des fibres, elles dépendent des conditions climatiques.

I.3. Les fibres synthétiques

I.3.1. Généralité

Les composites artificiels sont souvent renforcés soit par des fibres, soit par des composants fabriqués à base de fibres (torons, assemblage de fibres tordues ensemble ; tissus ; mats, ou nappes). Chacune de ces fibres s'impose dans une application particulière en raison de ses propriétés spécifiques et de son prix [17].

I.3.2. Les fibres de verre

Les fibres de verre sont les renforts les plus utilisées actuellement du fait de leur excellent rapport qualité/prix. La fibre de verre est obtenue par la fusion directe de la composition verrière dans des filières pour obtenir un mono filament d'un diamètre de 3.6 à 20 μm après étirement. Il existe différentes variétés (E, R et S) selon la proportion de chaque composant (SiO_2 , Al_2O_3 , B_2O_3 , CaO , MgO), les meilleures propriétés étant obtenues pour les plus fortes proportions de silice (verre S : 65%). Les fibres de verre présentent une résistance à la rupture élevée, une densité moyenne

Chapitre I : Matrices et renforts

(voisine de 2.5), une bonne inertie chimique en milieu neutre ou acide, mais une dégradation basique rapide[17].

I.3.3. Fibres de carbone

Suivant les conditions de fabrication, il existe une variété de fibres de carbone mais actuellement trois types de fibres sont commercialisés

- ✓ Les fibres hautement résistant (H.R.)
- ✓ Les fibres à module intermédiaire (I.M.)
- ✓ Les fibres à hauts modules (H.M.)

Ces fibres présentent d'excellentes propriétés mécaniques notamment en traction et ils sont connus pour leur faible densité. Les composites renforcés de fibres de carbone se distinguent par leur rigidité et leur excellente tenue en fatigue. Les principales applications des fibres de carbone dans les composites se trouvent dans l'industrie aéronautique et les articles de sports et loisirs [17].

I.3.4. Fibres d'aramide

Les fibres aramides à caractéristiques mécaniques élevées sont généralement connues sous le nom de (Kevlar), nom commercial de la fibre mise au point par Dupont Nemours (U.S.A), et commercialisé en 1972. Ils ne peuvent être utilisés que comme fibres, qui servent surtout à la fabrication de matériaux composites, en renfort de matrices. On trouve :

- ✓ KEVLAR 49 : haut module ($E=130$ GPa) employé dans la fabrication de stratifiés dans le renforcement des composites à hautes performances.
- ✓ KEVLAR 29 : standard ($E=70$ GPa) utilisé pour les câbles, cordages et les gilets pare-balles [17].

I.4. LES MATRICES

I.4.1. Définition

La matrice est l'un des constituants de base des matériaux composites. C'est un matériau généralement organique léger, facilement déformable, qui revêt trois fonctions principales.

La matrice lie les fibres du renfort entre eux et assure la répartition de la contrainte c'est « l'emballage ». Elle assure également une protection chimique. Les matrices doivent présenter une bonne compatibilité avec le renfort. En outre, elles doivent avoir une masse volumique faible de manière à conserver aux matériaux composites des caractéristiques mécanique spécifique élevées [32].

I.4.2. Les principales familles des matrices

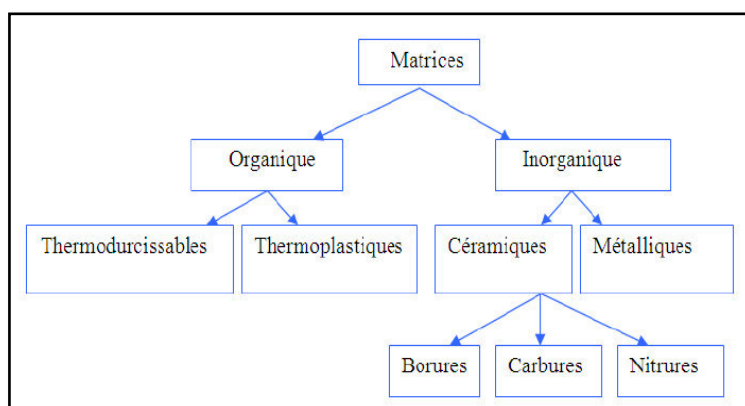


Figure I.5. Organigramme des principales familles des matrices [33].

Les plus répandus actuellement sont les matériaux composites à matrice organique, l'emploi de composites à matrice métallique ou céramique restant très limité[34].

I.4.2.1. Matrices thermoplastiques (TP)

Elles se présentent sous forme de chaînes linéaires, lors de leur transformation (qui a un aspect de réversibilité), on doit leur offrir un apport de chaleur puis un refroidissement. Ces matrices possèdent des propriétés mécaniques élevées et sont généralement renforcées par des fibres courtes. On cite comme exemples : matrice en Polyamide, en Polyéthylène téréphtalate et polyéthylène basse densité, Polycarbonate, Polypropylène...etc. [35].

Chapitre I : Matrices et renforts

I.4.2.2. Matrices thermodurcissables (TD)

Ce sont les matrices les plus utilisés dans la fabrication des matériaux composites, ils se durcissent définitivement et d'une façon irréversible lors la synthèse, elles forment un réseau tridimensionnel et sont généralement renforcé par des fibres longues. Ces matrices possèdent meilleure propriétés mécaniques, thermiques et chimiques. On cite comme exemple : les résines polyester et vinylester, résine époxydes, résine phénolique,...etc. [35, 36].

I.5. Résines polyester insaturées

La résine polyester est un polymère thermodurcissable très utilisée pour la fabrication de matériaux composites à grande diffusion. Cette matrice est le liant qui tient le composite et assure le maintien du renfort dans sa position initiale en plus d'assurer la transmission des efforts. Les propriétés de matrice peuvent varier selon les spécifications requises et les propriétés anticipées du composite final. Un des avantages est le coût vis à vis des résines époxy (environ 5 Euro le kilo). D'autre part, cette résine peut polymériser à température ambiante et par irradiation UV. Elle est aussi facile d'utilisation, et conviennent à beaucoup d'applications (bateaux, piscines, cuves, éoliennes)[37]. Elle est parmi l'une des premières à avoir été utilisée dans le domaine du composite. Une fois produite, la résine est vendue industriellement sous forme de mélange peu visqueux (environ 0.2 Pa.sec), le plus souvent fréquemment préalablement « promotée » avec du cobalt ethylexanate. Les formulations courantes contiennent entre 30 et 50% massique de monomère insaturé (le styrène), très liquide et volatile, qui est responsable de la viscosité finale de la résine[37].

La matrice polyester est polymérisée à l'aide d'un catalyseur de peroxyde organique souvent à température ambiante et sa réaction est fortement exothermique [38, 39]. Sa structure chimique se décrit selon trois composantes :

- ✓ Une résine polyester insaturée ;
- ✓ Le monomère réactif qui copolymérise avec la résine pour diminuer sa viscosité ;
- ✓ Un inhibiteur pour assurer la stabilité de la résine pendant son entreposage.

L'utilisation de ce type de résine offre plusieurs avantages dont la facilité de mise en œuvre. Pour bien intégrer ce type de matrice aux matériaux composites, il est nécessaire d'en connaître les caractéristiques répertoriées au Tableau 1.

Chapitre I : Matrices et renforts

Tableau I.1. Avantages et inconvénients des résines polyesters [39]

Avantages	Inconvénients
Bonne adhérence sur les fibres de verres	Mauvaise tenue au feu et dégagement de fumée important
Transparent	Retrait au moulage important (6-15%)
Durcissement rapide	Faible résistance à la fatigue
Bonne résistance chimique	Conservation limitée due à l'évaporation de styrène.
Facile à mettre en œuvre	
Bonne tenue en température	
Bas prix	
Bonne résistance à la traction .	

I.5.1. Synthèse et formulation des résines polyester

a) Le principe

Au nom de résine polyester insaturée est associé la dissolution d'un pré-polymère polyester dans un diluant réactif copolymérisable. La synthèse de telles résines est effectuée par l'industrie chimique et nécessite des moyens industriels lourds pour assurer la production de quantités importantes. Le pré-polymère est tout d'abord synthétisé à température élevée (150 à 180°C) par polyestérification d'acides ou d'anhydrides saturés ou insaturés avec des polyols. Cette réaction est réversible, sa vitesse et son degré de conversion dépendent de l'extraction de l'eau formée.

La première étape est la réaction d'estérification entre les diacides et les polyols selon l'équilibre suivant :



La seconde étape est la polycondensation du monoester qui conduit à la formation de chaînes linéaires de polyester :



Ensuite, lorsque les réactions d'estérification et de condensation sont terminées, le polyester est refroidi à une température intermédiaire permettant d'introduire un inhibiteur puis le diluant réactif. L'inhibiteur a pour fonction d'éviter le gel et d'ajuster la réactivité du polyester. A température ambiante, le pré-polymère polyester est un solide. En revanche, les diluants ou monomères utilisés (par exemple

Chapitre I : Matrices et renforts

le styrène) sont liquides à température ambiante et jouent aussi le rôle de solvant. En ajustant le taux de monomère, le polyester solide est transformé en un liquide dont la viscosité est adaptée à l'utilisation souhaitée[38].

On parle alors de résine polyester c'est à dire un pré-polymère polyester mis en solution dans un monomère réactif[39].

b) Polymérisation de la résine polyester insaturée

La réticulation de la résine conduit à des matériaux solides, infusibles et insolubles dans tous les solvants. La synthèse de ce matériau est réalisée en deux étapes :

- ✓ Une polyestérification pour la préparation prépolymère du polyester insaturé.
- ✓ La copolymérisation radicalaire faisant réagir les insaturations de la chaîne polyester et celles du co-monomère réactif, solvant du pré-polymère, le styrène.

Les systèmes réactifs à base de polyester insaturé sont vendus industriellement sous forme de mélange styrène-résine. Le styrène, en plus d'ajuster la viscosité, a une influence sur la cinétique de réaction ainsi que sur la morphologie du réseau, car il intervient directement dans la réaction de réticulation [40].

I.5.2. Additifs

Un additif désigne une substance qui est ajoutée, habituellement en petite quantité, à un mélange pour modifier ou apporter une propriété spécifique. Chaque additif à un rôle prédéfini.

I.5.3. Le catalyseur

Le peroxyde éthylique méthylique cétone (PMEC) est le catalyseur qui est recommandé pour activer la réaction de polymérisation. C'est un explosif puissant à base de peroxyde d'acétone et des mesures de sécurité sont donc nécessaires lors de son utilisation et de son entreposage. A température ambiante, le PMEC est liquide, incolore et a une texture huileuse [41].

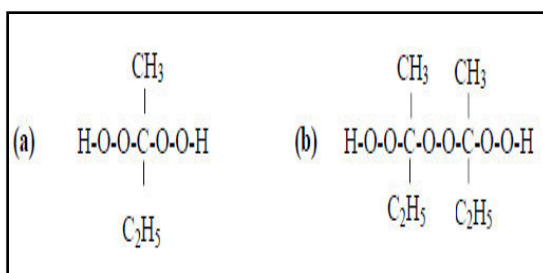


Figure I.6. Molécule de catalyseur PMEC, Sousforme de monomère (a) ou dimère(b)[41].

I.5.4. Accélérateur/promoteur (OC₆)

Pour obtenir un durcissement rapide à la température, des accélérateurs de polymérisation sont utilisés. Cette substance est ajoutée en faible quantité au catalyseur pour en augmenter l'activité [42]. Les accélérateurs sont principalement des sels métalliques comme l'octate de cobalt ou la naphtéate de cobalt. Ces composés réagissent avec le catalyseur à température ambiante libérant des radicaux libres qui initient la réaction de polymérisation[41].

II. LES MATERIAUX COMPOSITES

II.1. Introduction

Les matériaux composites permettent, par l'association d'un ensemble de fibres résistantes à caractéristiques élevées noyées dans une matrice dont les propriétés

mécaniques sont nettement plus faibles, d'obtenir des performances accrues dans les directions de renforcement. Les fibres jouent le rôle de renfort tandis que la matrice assure la cohésion du composite et le transfert des efforts aux fibres [43 , 44]. Les matrices communément utilisées dans l'élaboration de composites à fibres naturelles vont des thermoplastiques, tels le polypropylène et le polyéthylène, aux thermodurcissables tel le polyester. D'une manière générale, l'utilisation de fibres naturelles comme renfort de matériaux composites, s'inscrit depuis de nombreuses décennies dans une démarche d'écoconception et se justifie pour :

- ✓ Valoriser une ressource locale dans des pays industrialisés ou peu industrialisés, les composites à fibres naturelles ouvrant de nouveaux débouchés aux produits agricoles ;
- ✓ Développer des matériaux et des technologies prenant en compte l'impact sur l'environnement. Les fibres naturelles sont produites et se recyclent naturellement sur terre depuis des millions d'années (matériaux biodégradables et renouvelables [45]).

L'utilisation de ces matériaux a été développée pour servir dans différents domaines (cosmétique, automobile, horticulture, électroménager, mobilier urbain, outillage, etc.). En effet, la faible densité, le faible coût, la disponibilité et l'aptitude au recyclage de ces fibres encouragent le développement de nouvelles applications dans les composites[45].

Aujourd'hui, la transition vers une économie durable et plus respectueuse de l'environnement s'effectue tout d'abord par un changement dans les cultures des plantes, la consommation alimentaire, la production d'énergie, la quête de ressources renouvelables, afin de réduire la production pétrochimique et l'émission des gaz à effet de serre. C'est dans cette perspective que l'intérêt pour les fibres ligno cellulosiques provenant de tissus végétaux s'est accru, tenant compte du fait qu'elles ont un réel avantage concurrentiel face aux fibres de verre et surtout du fait qu'elles

Chapitre II : Les matériaux composites

constituent des ressources renouvelables. Les fibres végétales se voient ainsi très prometteuses pour la transition vers une économie durable [46].

II.2. Les composites

Les composites correspondent à l'association de matériaux élémentaires aux caractéristiques complémentaires, en vue de leur conférer, à l'échelle macroscopique et au moins dans certaines directions, un ensemble original de propriétés que les constituants, pris isolément, ne permettent pas d'atteindre. Légèreté et résistance mécanique ou fragilité et ténacité peuvent ainsi être associées [47 ,48].

II.2.1. Matériaux composites à matrice polymérique et renfort fibres végétales

Un matériau composite est par définition l'association de plusieurs composants élémentaires de natures différentes conférant un ensemble de propriétés qu'aucun des composants pris seul ne possède. C'est donc un produit hétérogène dont les propriétés sont un dépassement des caractères originels. Les composites plastiques sont composés de :

a) La matrice : qui lie les fibres renforts, répartit les efforts (résistance à la flexion ou à la compression) et assure la protection chimique, en donnant de plus la forme du produit réalisé. C'est par définition une résine polymérique ;

b) Le renfort : qui constitue l'armature, ou le squelette, assure la tenue mécanique (résistance à la traction et rigidité). Il est par définition de nature filamentaire, généralement de fibres naturelles (Lin, Chanvre, Jute, Sisal, Bois, etc.) ;

3. les additifs, nécessaires pour assurer une adhérence suffisante entre le renfort fibreux et la matrice, mais n'interviennent pratiquement jamais dans le calcul de structure du composite [49].

II.2.2. Procédés de mise en oeuvre des matériaux composites

La conception d'un matériau composite dépend des types d'applications spécifiques qui lui sont envisagées, ce qui le diffère fortement des matériaux classiques, où la conception d'une structure est adaptée en fonction du matériau constitutif. Tandis que la qualité et la convenance du matériau composite dépendent du choix de ses deux composants de base, (matrice et fibres) [50].

En effet, il existe de nombreuses technologies de réalisation des matériaux composites. Le choix entre les différentes techniques est généralement conditionné par deux types de contraintes : des contraintes de couts liées au nombre de pièces à réaliser (investissement, durée de cycle) et des contraintes techniques qui peuvent

Chapitre II : Les matériaux composites

dépendre des propriétés mécaniques (type et taux de renfort), de l'aspect dimensionnel, de l'aspect de surface, de la finition, de la tenue à l'environnement, etc[51]. Des méthodes d'élaborations peuvent être regroupées en catégories

- a) par extrusion, très utilisée avec les thermoplastiques ;
- b) par imprégnation, utilisée souvent avec les tissus et les fils ;
- c) par dépôt pour les composites en sandwichs.

Ces méthodes sont souvent suivies d'un moulage qui peut être réalisée de plusieurs façons :

1. Moulage par compression (à froid, à chaud, par injection de résine)

Cette méthode est utilisée pour obtenir des composites à fort taux de renfort à formes profondes et délicates pour des pièces produites en grande quantité [52].

2. Moulage sous pression (au contact, à injection simultanée) :

Cette méthode la plus simple permettant l'obtention de pièces en grande série (de 1 à 1000 pièces/ an), de moyennes et de très grandes dimensions à bas prix pour des revêtements sur supports divers. Le taux de renfort est toutefois limité [53,54].

3. Sous vide

Il est destiné pour la réalisation des pièces à deux faces lisses dont les dimensions allant de petits au et moyens [53].

4. En continu

Cette technique est destinée à l'élaboration des composites en sandwichs [53].

5. Injection thermodurcissable

Cette technique largement utilisée dans la fabrication de pièces en composite [55,56].

6. par pultrusion

C'est un procédé applicable aux résines thermoplastiques et thermodurcissables et donne des matériaux à caractéristiques mécaniques élevées suivant. les taux de fibres peuvent atteindre 80% [53,57].

7.enroulement filamentaire (ou bobinage)

Ce type de moulage est bien adapté aux surfaces cylindriques et sphériques, devant résister aux pressions internes et permet une conception avancée des pièces [53, 57].

8. par centrifugation

C'est une technique réservée pour les formes cylindriques (tubes, tuyaux), consiste à mélanger un thermoplastique préalablement chauffé jusqu'à la fusion avec des fibres discontinues dans un mélangeur centrifuge [50,53,56].

Chapitre II : Les matériaux composites

La conception d'un matériau composite dépend du type d'application, du chargement qui lui est appliqué, etc., ce qui le différencie fortement des matériaux classiques, où la conception d'une structure est adaptée en fonction du matériau constitutif. Il est évident de voir que la qualité et la convenance d'un matériau composite dépendent du choix de ces deux composants de base (matrice et fibres) en fonction des applications spécifiques qui lui sont envisagées.

L'optimisation des propriétés interfaciales entre les composants doit toujours être prise en compte. Plus spécifiquement, deux dispositifs fondamentaux doivent être atteints :

1. il est essentiel que le liquide qui enveloppe les fibres pendant la formation du composé réalise leur mouillage spontanément, c'est-à-dire que l'énergie d'adhésion résultant de ce contact doit surmonter l'énergie cohésive du polymère ;
2. les performances mécaniques seront améliorées si la ligne formée par l'interface comporte des enchevêtrements macromoléculaires résultant de la diffusion dans la matrice polymère et des chaînes greffées sur les fibres [52].

II.2.3. Paramètres affectant les propriétés des composites à renfort fibres végétales

Les propriétés mécaniques des matériaux composites à renfort fibres végétales sont très sensibles à différents paramètres notamment : la nature et la quantité des constituants, leur morphologie, le taux de fibres, ainsi que leur orientation, leur état de dispersion dans la matrice et de l'humidité [58].

II.2.4. Influence de la nature et de la quantité des constituants

Le renfort d'un matériau composite est une substance relativement inerte ajoutée à certains polymères en proportion variant de 5 à 60%, en vue d'améliorer leurs caractéristiques, comme la dureté, la résistance à l'abrasion, la résistance aux chocs, la résistance aux solvants, d'en modifier les caractéristiques électriques, d'obtenir un matériau léger, moins coûteux et respectueux de l'environnement [59].

L'un des facteurs les plus significatifs qui affecte les propriétés mécaniques des composites est le contenu en renfort. Généralement, l'augmentation du pourcentage de renforts améliore quasi systématiquement la rigidité d'un composite. Cependant, une trop grande quantité de renforts implique une adhésion plus difficile qui conduit à une baisse de performances dans certains cas [59,60].

Chapitre II : Les matériaux composites

L'augmentation de la proportion de fibres ligno-cellulosiques améliore automatiquement les performances mécaniques des composites Bois/polymère [61].

Néanmoins elle a aussi pour conséquence directe, la multiplication des problèmes liés à l'usage d'un matériau biologique hygroscopique et putrescible. Les propriétés d'élongation, la résistance à l'impact sont diminuées par l'accroissement de la quantité de bois selon les travaux de recherche de Bledzki et ses collaborateurs [62].

D'autre part, à de très hautes teneurs en fibres, la rigidité des composites diminue en raison de la grande variation de concentration, ce qui engendre une différence de répartition des contraintes selon Bibo et Hogg[63].

Panaitescu et ses collaborateurs [64] ont étudié l'effet du taux de la charge sur les propriétés mécaniques du composite PP/fibres de Sisal, et ont montré que la résistance à la traction et le module d'élasticité en traction augmentent avec l'augmentation du taux des fibres de Sisal. Le module d'élasticité devient double dans le domaine de concentration 0, 5, 10, 15, 20, et 25%. La variation du module d'élasticité en traction avec la concentration des fibres de Sisal dans le matériau composite est presque linéaire.

II.2.5. Influence de l'humidité et de l'absorption d'eau

Les propriétés mécaniques des composites renforcés par des fibres naturelles peuvent être réduites en grande partie dans des conditions humides. C'est une préoccupation profonde car il y a des potentialités d'applications extérieures, où l'absorption d'humidité peut avoir une influence significative sur ces matériaux. Les liaisons entre les fibres naturelles (qui contiennent l'hydroxyle et d'autres groupes polaires) et les matrices relativement hydrophobes de polymère seraient affaiblies avec la prise d'eau élevée. L'interface affaiblie va causer la réduction des propriétés mécaniques des composites. Par conséquent, l'effet de l'humidité sur les propriétés mécaniques est essentiel pour les applications des composites renforcés par des fibres naturelles. À cet égard, la résistance à l'eau de ces matériaux a pu être améliorée par la modification des fibres [65].

Généralement, l'absorption d'humidité provoque la diminution des propriétés mécaniques d'un matériau composite renforcé par des fibres naturelles. Mais elle peut aussi migrer le long de l'interface fibre-matrice et influencer l'adhésion entre ces dernières causant ainsi la perte de rigidité et parfois la dégradation des fibres.

Chapitre II : Les matériaux composites

L'absorption d'eau des composites formés par du polypropylène et des fibres naturelles a été examinée par Espert et ses collaborateurs [71]. Les résultats ont montré qu'il y a diminution des propriétés mécaniques notamment le module d'Young sous conditions humides.

Scida et ses collaborateurs [72] ont étudié l'influence du vieillissement dans l'eau sur les propriétés mécaniques d'éco-composites à base de résine époxyde et de fibres de Lin. Les résultats obtenus ont montré que le vieillissement influence le comportement mécanique du matériau, et provoque une diminution de module élastique et une augmentation de la déformation lors de la diffusion de l'eau dans le matériau. Les fibres de Bois présentent un caractère hydrophile et subissent ainsi des déformations importantes lorsqu'elles se trouvent dans une atmosphère humide. Ceci a plusieurs effets sur l'adhésion ainsi que sur les caractéristiques mécaniques et physiques du matériau composite. Cet inconvénient joue donc un rôle sur son emploi ultérieur selon Takatanil et ses collaborateurs [73]. Cependant, dans certains cas, l'eau peut agir comme un plastifiant lorsqu'elle est absorbée par une matrice thermoplastique consolidée par des fibres naturelles.

Bouhank[74] a travaillé sur l'influence du taux de farine de Genêt d'Espagne (GE), le traitement de surface et la température sur l'absorption d'eau des composites de polypropylène/farine de Genêt d'Espagne (PP/GE). L'absorption d'eau des matériaux composites (PP/GE) a augmenté avec l'augmentation du taux de farine en raison de la forte teneur en cellulose. Les résultats des propriétés mécaniques ont montré que la contrainte à la rupture et le module d'élasticité diminuent après absorption d'eau. Une légère augmentation de la déformation à la rupture des composites a été observé après absorption.

II.2.6. Effets de la dispersion et de l'orientation des fibres

La dispersion des fibres conduit à un mélange plus ou moins homogène, ce paramètre influence les propriétés physico-mécaniques du matériau composite. En effet, les dimensions des fibres induisent leur orientation dans la matrice polymère. Une bonne dispersion implique que les fibres sont séparées et ne sont pas agglomérées, et chaque fibre est entourée par la matrice. Tandis que, l'insuffisance de dispersion des fibres qui ont tendance à se regrouper et à s'agglomérer crée des hétérogénéités, ce qui provoque la formation des microfissures [59,75].

Chapitre II : Les matériaux composites

Raj et ses collaborateurs [76] ont étudié l'influence du traitement de la surface du renfort fibreux par l'acide stéarique et l'huile minérale (agent mouillant) et d'agent découplage (éthylène maléique) sur les propriétés des composites polypropylène/fibres cellulosiques. La résistance à la traction et le module des composites ont augmenté avec le taux de fibres, lorsque l'acide stéarique et l'huile minérale sont utilisés à une concentration de 1 (% m) durant la transformation. L'acide stéarique a montré une meilleure amélioration de la dispersion des fibres dans les composites comparé à l'action de l'huile minérale. Les fibres doivent être orientées dans le sens de l'extrusion ou de l'écoulement pour permettre d'obtenir de bonnes propriétés mécaniques et une augmentation de la rigidité selon Gamstedt et ses collaborateurs [69]. Si les fibres sont orientées transversalement par rapport à la direction de l'écoulement, les contraintes sont augmentées. Par la suite, les fibres réparties aléatoirement ou mal réparties contribuent à la diminution de la rigidité des composites selon Wolcott et Englund[77]. Dans ce cas, les produits obtenus se dégradent plus facilement à cause de la grande concentration des contraintes à des endroits différents du matériau.

L'orientation des fibres est un autre facteur important qui influe sur le comportement des composites. Car les fibres sont rarement orientées dans les matériaux composites en une seule direction, laquelle est nécessaire pour que les fibres donnent un effet de renforcement maximal [78].

II.2.7. Influence de l'adhésion fibre-matrice

Les phénomènes d'adhésion aux interfaces fibre-matrice jouent un rôle essentiel sur les propriétés des matériaux composites. De telles interfaces sont le siège de phénomènes physico-chimiques complexes dus aux interactions moléculaires entre deux matériaux de nature et de propriétés différentes, pouvant conduire à la formation de véritables interphases aux propriétés intrinsèques. Ces interfaces et interphases doivent être en mesure de supporter toutes les contraintes mécaniques, résiduelles ou externes, et de les transmettre de la matrice à la fibre pour que les matériaux composites présentent les propriétés mécaniques à l'usage requis [79].

Chapitre II : Les matériaux composites

II.2.9. Applications des matériaux composites à renfort fibres végétales

Le développement des matériaux composites s'est fait de façon évolutive mais aussi révolutionnaire. Depuis des décennies, de nombreuses technologies modernes font appel à des matériaux composites à matrice polymère et à renfort végétal plus performants et plus légers que certains matériaux traditionnels. Ces technologies trouvent une application dans plusieurs domaines tels que : le cosmétique, l'automobile, l'horticulture, l'électroménager, le mobilier urbain, l'outillage [57,79].

En citant, par exemple quelques applications des secteurs qui ont utilisé les matrices polymères et les fibres végétales pour la fabrication des composites :

En automobile : les entreprises comme Opel Audi, BMW, Renault, Ford, Seat, fabriquent des composites renforcés de fibres végétales : garnitures et panneaux de portes, planches arrière, revêtements intérieurs et passage de roues, voûte interne de pneu, pare-chocs, tableau de bord, etc.

En construction : les fibres végétales sont utilisées en renfort de matériaux, notamment matériaux d'isolation, de produits en ciment, profilés de portes, de fenêtres, panneaux décoratifs, etc.

En Infrastructure : trottoirs, signalisations routières, isolants phoniques, etc.

Emballage : barquettes, bouteilles, films, sacs, film de paillage ; films à base de chitosane et PLA : matériaux antimicrobiens, matériaux barrière aux graisses.

Autres applications : les palettes, le mobilier (table de camping ou chaise), équipement de jeux publics.

L'optimisation des propriétés et la résolution de verrous technologiques devraient permettre d'élargir cette technologie à des pièces de structure avec un gain de masse, de meilleures propriétés acoustiques ou autres par rapport à des composites à fibres de verre. Enfin, le passage à des matériaux à matrices biodégradables permettra de répondre à une demande dans de nombreux domaines [80].

Chapitre III : Matériel et méthodes expérimentales

III. MATERIEL ET METHODES EXPERIMENTALES

III.1. Introduction

Ce chapitre est consacré à la présentation des produits, des méthodes d'élaborations et les techniques expérimentales utilisées pour l'étude et la caractérisation des composites résine/fibre de verre, résine/déchets de fibre de jute et résine/fibre de verre/déchets de fibre de jute. Notre étude a été réalisée dans une société Algérienne de Véhicules Industriels (SNVI) Réghaia Industrielle.

III.2 .Produits utilisés

III.2.1 La résine

La résine utilisée au cours de cette étude est une résine polyester insaturée en styrène, halogénée elle est commercialisé sous le nom de « NORODYNE® H 84233L » au niveau de la SNVI. C'est une résine transparente, faible viscosité, propriétés ignifuges, stabilisé à la lumière, très bonne résistance chimique. Les principales caractéristiques de la résine sont regroupées dans le tableau III.1.

Tableau III.1.Caractéristiques de la résine « NORODYNE® H 84233L [Document Polynt composites)

Caractéristiques	Valeurs	Méthode Test
Masse volumique à 20°C	1,1 g/cm	D 1238
Module de Young MPa	3600	ISO 527(2012)
Allongement à la rupture	1,15 %	ISO 527(2012)
Contrainte à la rupture	40 MPa	ISO 527(2012)
Module de flexion MPa	3500	ISO 17(2011)

Le peroxyde éthylique méthylique cétone (PMEC) assurant la réticulation de la matrice du composite et l'octoate de cobalt à 6% comme accélérateur

Chapitre III : Matériel et méthodes expérimentales

III.2.2 La Fibre de verre

Mat 300g/m² et 450 :c'est des fibres de verre courte type E répartie aléatoirement .et reliées par un ensimage polymérique pour donner des nappes de distribution massique en fibre de 300g/m², et 450g/m²respectivement les mat sont fournies par Ashland.

La fibre utilisée dans notre étude (figure III.1) se présente sous forme de mat de 300g/m² et de 450g/m².



Figure III.1.La fibre de verre sous forme de mat

III.2.3 Fibre de Jute

Les fibres de jute utilisées proviennent de déchets récupérés de l'usine de fabrication « tapis d'or » d'Oran. Les déchets sont sous forme de ficelles de longueurs variables allant de 10 à 17 cm et de diamètre 1,25 mm. Pour l'utilisation, ces ficelles sont tissées à la machine et sont repassées au fer électrique afin d'obtenir des mats de longueur de 30 cm, de largeur de 30 cm et de poids de 50 g (Figure III.2).

Afin de réduire l'humidité, les fibres sont étuvées à 105°C pendant toute la nuit avant l'utilisation. Les propriétés physico-chimiques de la fibre de jute sont données dans le tableau III.2.

Chapitre III : Matériel et méthodes expérimentales

Tableau III.4. Les propriétés physico-chimiques de la fibre de jute .[BOub]

Propriétés	Valeur
Densité (g/cm ²)	1,4
Diamètre (μm)	160-185
Teneur en cellulose content (%)	50-57
Teneur en lignine content (%)	8-10
Contrainte à la rupture (MPa)	400-800
Module de Young (GPa)	30,0
Allongement (%)	1,8



a) avant le tissage



b) après le tissage

Figure III.2. Les fibres de jute (a) et (b)

Chapitre III : Matériel et méthodes expérimentales

III.3 Elaboration des composites

Le processus d'élaboration des composites est représenté par la figure III.3 ci-dessus.

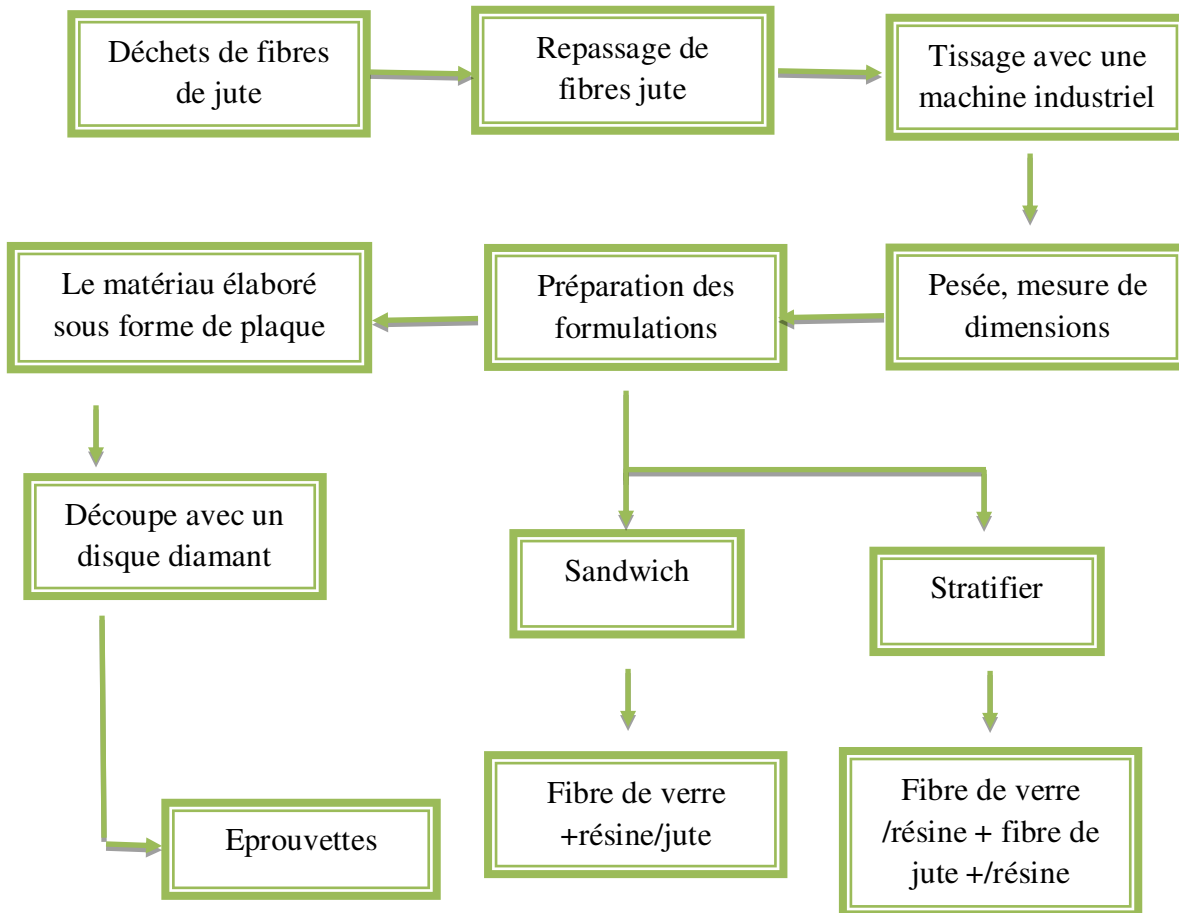


Figure III.3. Processus d'élaboration des composites.

Chapitre III : Matériel et méthodes expérimentales

III.4 .Mode expérimentale d'élaboration des composites

Dans notre travail, on a élaboré cinq différentes formulations :

Les formulations consiste à superposer les deux types de renforts en les imprégnant de résine (Résine /Jute /Fibre de verre 300g/m^2 , Résine / Jute/Fibre de verre 450g/m^2). La résine polyester insaturé accélérée est mélangée t doucement, dans un récipient, Une concentration de 0.15% de l'octoate de Cobalt à 6% et de 1,2 % de PMEC est ajoutée, en dernier, pour assurer la réticulation de matrice du composite. La formulation, ainsi préparée permet d'imprégner à l'aide d'un pinceau le mat de fibres de verre, mat de fibres de jute. Un ébuller est utilisé pour éliminer l'excès de la résine et permet de dégager les inclusions de bulles d'air. Le lendemaindes plaques de composites sont récupérées (250×250) mm^2 .

III.5 Composition des composites

Les formulations réalisées sont regroupées dans le tableau III.3 ci-dessus

Tableau III.3 . Composition des formulations

Formulations	Compositions
F0	Résine + Fibre de verre (300 g/m^2) +fibres de jute
F1	Résine + Fibre de verre (450 g/m^2) +fibres de jute
F2	Résine + Fibre de verre (300 g/m^2)
F3	Résine + Fibre de verre (450 g/m^2)
F4	Résine + jute
F5	Résine pure

Chapitre III : Matériel et méthodes expérimentales

Les composites ainsi élaborés ont été caractérisés comme suite :

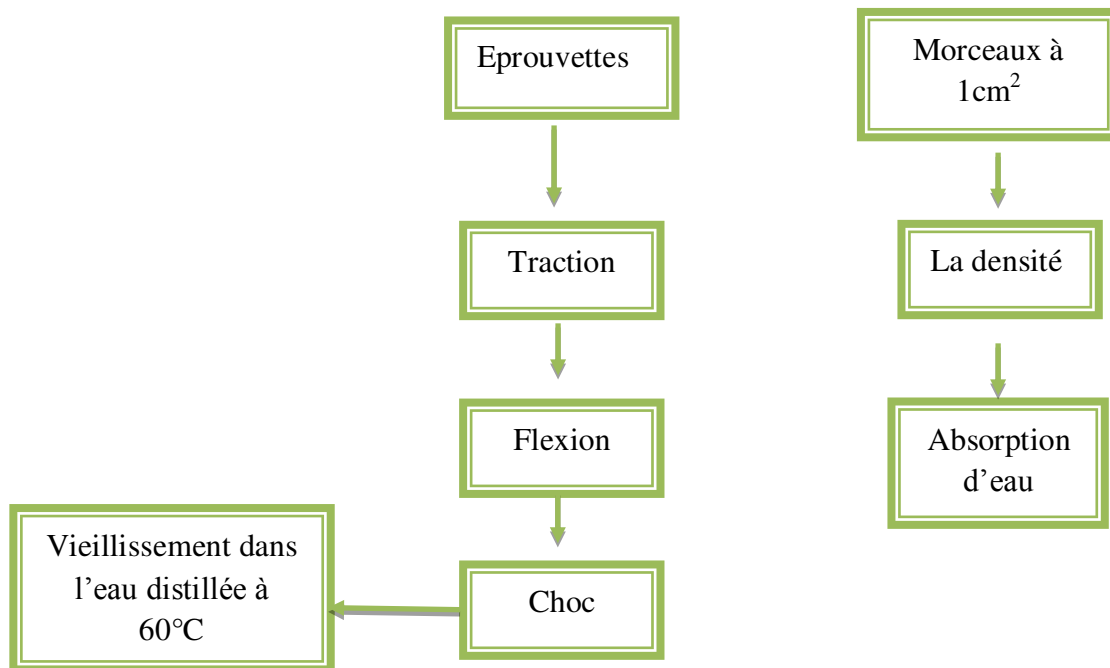


Figure III.4.Méthodes de caractérisation des composites

III.6Caractérisation des composites

III.6.1 Propriétés physique

III.6.1.1 Mesure de la densité

La densité est déterminée selon la méthode de la pesée par la Balance hydrostatique KERN selon la norme ALS 220-4 .Les résultants affichés représentent une moyenne d'au moins de 3 échantillons pour chaque composition. La densité est détermine selon la formule suivante:

$$d = \frac{A}{P} d_0 \quad (\text{III. 1})$$

A: piétés mécaniques masse de l'échantillon dans l'air (g).

P: masse de l'échantillon dans l'eau distillée (g).

d_0 : densité de l'eau à la température expérimentale.

Chapitre III : Matériel et méthodes expérimentales

III.6.2 Propriétés mécaniques

III.6.2.1 Essais de traction

Le test de traction permet de mesurer la contrainte à la rupture (σ_R), le module de Young (E) et l'allongement à la rupture (ϵ_r). Le test est réalisé sur les éprouvettes de dimensions 250 x 50 mm² munies des talons en Aluminium selon la norme ISO 527 -1 à l'aide d'un appareil Zwick/Roell 250 doté d'un capteur de force de capacité 250kN. Cette Machine est pilotée par ordinateur à l'aide de logiciel TestXpert9.0. Au niveau de l'unité de recherche des matériaux .

la vitesse d'étirement de 2mm/min à la température ambiante. Les éprouvettes ont été étuvées pendant 8h à la température de 80°C.

Module d'élasticité

Il représente le rapport de la contrainte de traction à la déformation

Correspondante dans la limite de contrainte maximale qu'une matière peut supporter.

Il représente un critère de rigidité, il s'exprime comme suit :

$$E = \sigma / \epsilon \text{ (N/m}^2\text{)}$$

III.2

E : Module d'élasticité;

σ : Contrainte (N/m²);

ϵ : Déformation (%).

contrainte à la rupture

c'est la charge de traction supportée par l'éprouvette à l'instant de sa rupture par unité de surface, elle est donnée par l'expression suivante :

$$\sigma_r = F / S \text{ (N/m}^2\text{)}$$

III.3

F : Charge de traction supportée par l'éprouvette (N);

S : Section initiale (m²).

III.6.3 Essai de flexion trois points

Les essais de flexion trois points sont effectués sur des éprouvettes de différentes formulations, de dimension 100 x 10mm selon la norme ISO 178 . Ces essais sont réalisés sur la machine universelle Zwick/Roll équipée d'un capteur de force de 2.5kN.

Chapitre III : Matériel et méthodes expérimentales

Le module d'élasticité E , la contrainte à la rupture σ_R et la déformation ϵ_R sont calculés par les relations ci-dessous:

$$E = \frac{3 \cdot P \cdot (L)}{2 \cdot b \cdot W^2} \quad \sigma_R = \frac{(L)^3}{4 \cdot b \cdot W^3} \cdot \frac{P}{\rho} \quad \epsilon_R = \frac{6 \cdot W \cdot (f)}{L^2}$$

Avec : P : force appliquée

L : distance entre appuis

W et b sont respectivement la hauteur et la largeur de l'éprouvette.

f : est la flèche correspondant à la charge P.

III.6.2.3 La résistance au Choc (Charpy)

Les essais aux chocs sont utilisés pour caractériser le comportement d'un matériau polymère sous l'effet de contraintes de choc définies et pour évaluer la fragilité ou la ténacité de ces éprouvettes dans les limites imposées par les conditions de l'essai. Les résultats des essais au choc sont employés d'abord pour comparer des produits construits par différents moyens de fabrication ou comme paramètre de contrôle qualité pour un processus donné. En second lieu, l'essai de choc est réalisé pour simuler les conditions d'usage final d'un matériel ou d'un produit.

Le test a été réalisé dans le laboratoire de Revêtement, Matériaux et Environnement (LRME) de la Faculté des Sciences de l'Ingénieur de l'Université de M'hamed Bougara (UMBB) de Boumerdès, à l'aide d'un appareil de type **ZWICK** (voir annexe 3) consistant en un pendule portant à son extrémité libre un marteau, un support pour éprouvette et un cadran indicateur de l'énergie absorbée au cours du choc. Le choc est donné au centre de l'éprouvette par un marteau de 2.7 J. Les éprouvettes $64 \times 3,1 \times 12,6 \text{ mm}^3$ ont été préparées selon la norme ASTM D-256.

Calcul de la résistance a_n :

Chapitre III : Matériel et méthodes expérimentales

- La résistance au choc d'éprouvettes non entaillées est exprimée par la relation:

$$a_n = E_c / b \cdot h \quad (\text{KJ} / \text{m}^2) \quad \text{III.5}$$

a_n: Résistance au choc (KJ/ m²) .

E_c: L'énergie absorbé par l'éprouvette sans entaille au moment de l'impact (J);

b: Largeur de l'éprouvette en (mm) ;

h: L'épaisseur de l'éprouvette en (mm).

Les échantillons coupés en petits carrés de 1 cm² de surface sont étuvés à 105°C jusqu'à poids constant ensuite, ils sont immergés dans un bain d'eau distillée à une température constante de 60°C. Le taux d'absorption d'eau est exprimé par le gain de la masse en fonction du temps. Il est déterminé à partir de l'équation (III.6).

$$\xi(\%) = \frac{M_t - M_0}{M_0} \times 100 \quad \text{III.6}$$

M₀ : masse initiale de l'échantillon au temps t₀ avant l'immersion (g).

M_t : masse de l'échantillon au temps t après immersion (g).

ξ (%) : taux d'absorption d'eau.

IV. RESULTATS ET DISCUSSIONS

IV.1. Propriétés physiques

IV.1.1. Influence de fibres de jute sur la densité des composites résine/fibre de verre

Les résultats de la densité des composites sont regroupés dans le tableau VI.1 ci-dessous

Tableau IV.1. Densité des composites.

Formulations	F0	F1	F2	F3	F4	F5
Densité	1.10	1.43	1.26	1.63	1.30	1.371

Les résultats de la densité montrent bien que l'incorporation de fibres de jute diminue la densité ce qui donne un matériau plus léger.

IV.2. Essais mécaniques

IV.2.1 Essais de traction

Les résultats du module de Young, de la déformation et de la force sont présentés dans les figures IV.1, IV.2, IV.3. On note une amélioration de Module de Young (Fig .IV.1) avec

l'incorporation de fibres de jute, on note une valeur importante de l'ordre de 3400 MPa pour le composite (F1) résine/fibre de verre (450g/m²)/fibre de jute contre une valeur de 1200 MPa dans le cas du composite (F3) résine /fibre de verre (450g/m²) ce résultat concorde avec la littérature [7] En ce qui concerne la force, on note une valeur maximale de 129,73 N/mm² dans le cas du mélange F3 (résine /fibre de verre 450 g/m²). Les résultats de la déformation (Fig IV.2) montrent que les composites présentent une déformation faible.

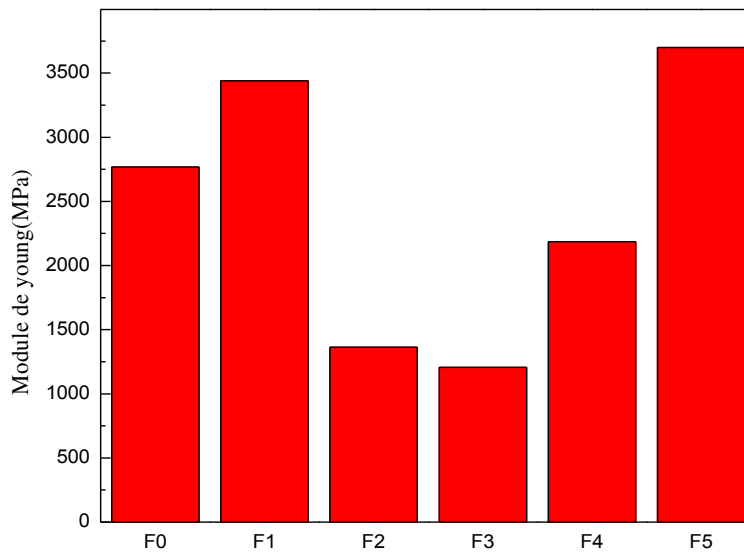


Figure IV.1 Module de Young des différents composites.

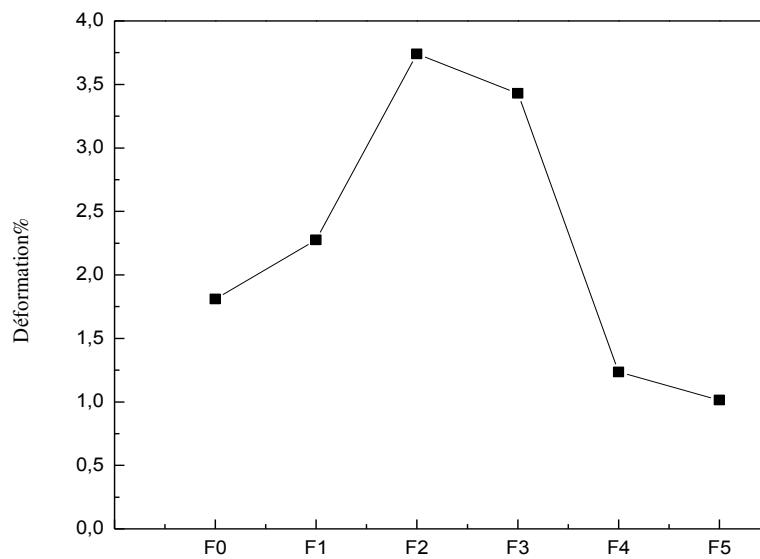


Figure IV.2. Variation de la déformation de différents composites.

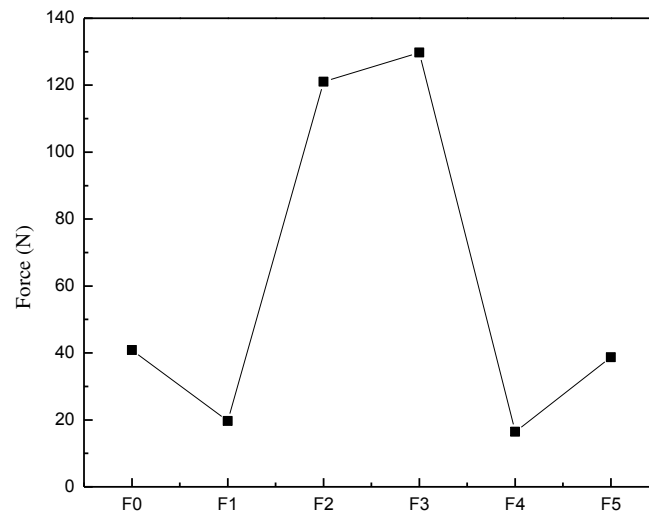


Figure IV.3. Variation de force de différents composites.

IV.2.2. Test de flexion

Les résultats expérimentaux de test de flexion pour différents composites sont présentés par les figures IV.4, IV.5, IV.6. Les résultats montrent que l'incorporation du jute diminue le module de flexion et la contrainte en flexion néanmoins des composites hybrides présentent une contrainte légèrement supérieur à celle du composite résine /fibre de verre 450g/m². La déformation augmente avec l'incorporation du jute au composite résine /fibre de verre. L'endommagement des composites est influencé par la présence des fibres de jute.

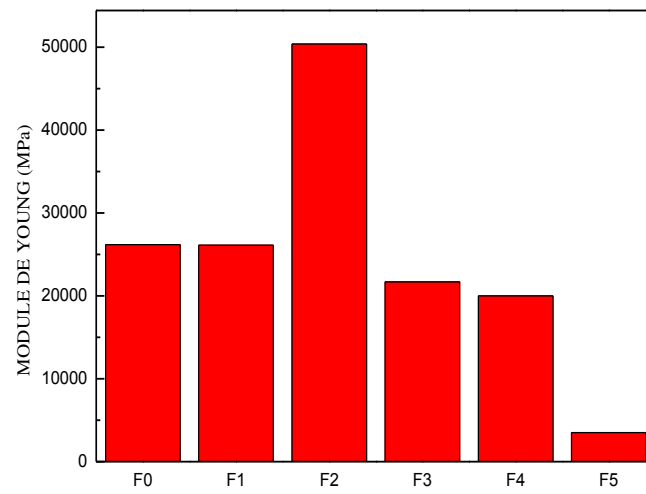


Figure IV.4. Variation de module de Young en flexion de différents composites.

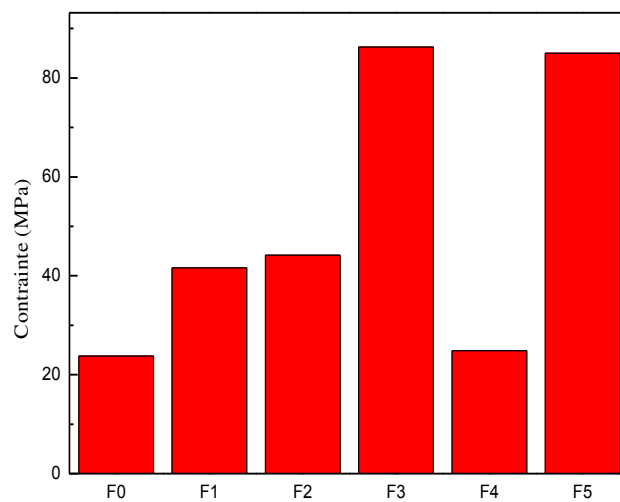


Figure IV.5. Variation de la contrainte de différents composites.

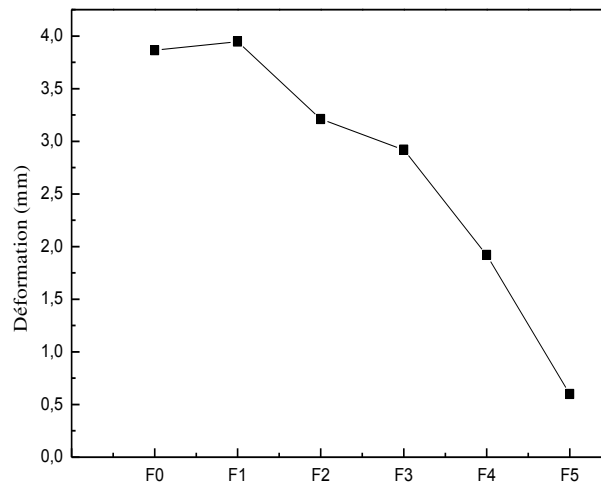


Figure IV.6. Variation de déformation de différents composites.

IV.2.3. Test de choc

La figure VI.7 présente les résultats du test de choc Charpy des différents composites à base de résine, fibres de verre et fibres de jute.

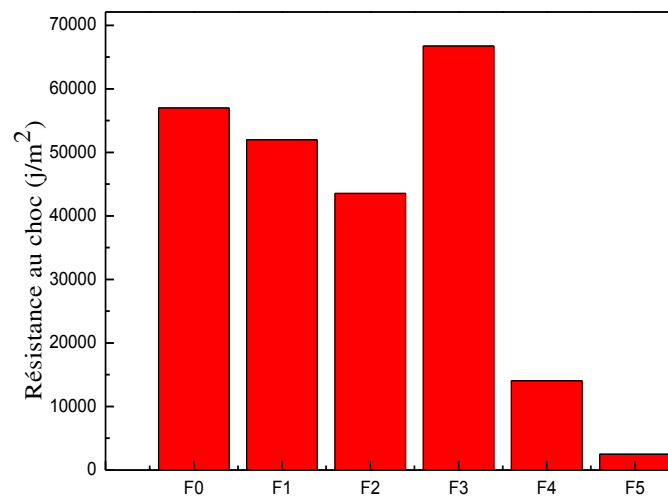


Figure VI.7. Variation de la résistance au choc (Charpy) de différents composites.

Les résultats de la résistance au choc des composites (Fig IV.7), nous constatons que l'énergie absorbée par le composite résine /fibre de verre (450g/m^2) (F3) est de l'ordre de 77kJ/m^2 comparant à celle de l'hybride résine /fibres de verre (450g/m^2)/ fibres de jute (F1) qui est de l'ordre de 55kJ/m^2 .

IV.2.3.1. Essai de vieillissement

La figure VI.2 présente les résultats du test de choc Charpy des composites

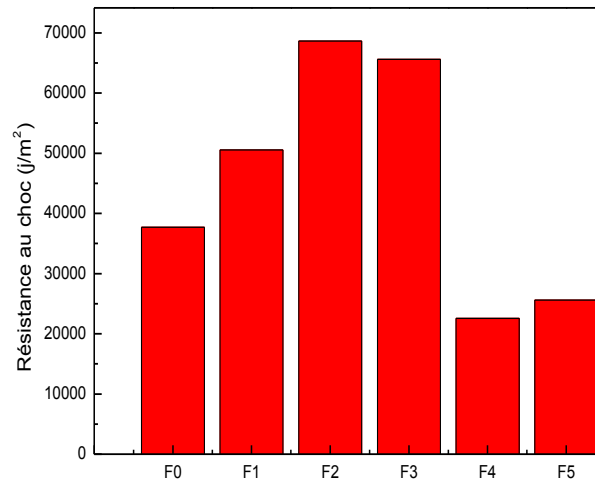


Figure IV.8. Variation de la résistance au choc (Charpy) de différentes formulations.

L'analyse des résultats du choc après vieillissement dans l'eau distillée à la température de 60°C montre que l'eau peut jouer le rôle d'un agent plastifiant.

IV.3 Evolution de l'absorption de l'eau

L'évolution du taux d'absorption d'eau en fonction du temps par les différents composites sont illustrés par les figures IV.9 ; IV10 ; IV11 . Les résultats montrent que l'absorption d'eau est favorisée par la présence de fibres de jute. Les taux d'absorption d'eau par les composites F0 et F1 sont de l'ordre de 17% et 8% respectivement au bout 340h comparant à ceux de F2 et F3 (absence de fibre de jute qui sont de l'ordre de 2,9% et 2,5%. Cette forte absorption est dû principalement au caractère hydrophile des fibres végétales.

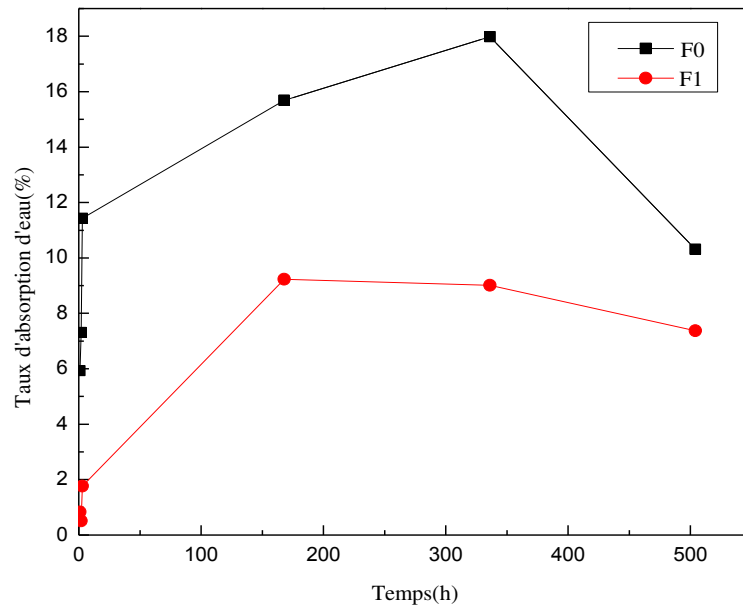


Figure IV.9. Variation du taux d'absorption d'eau des composites résine polyester/Jute/Fibres de verre à 300 et 450 g/m².

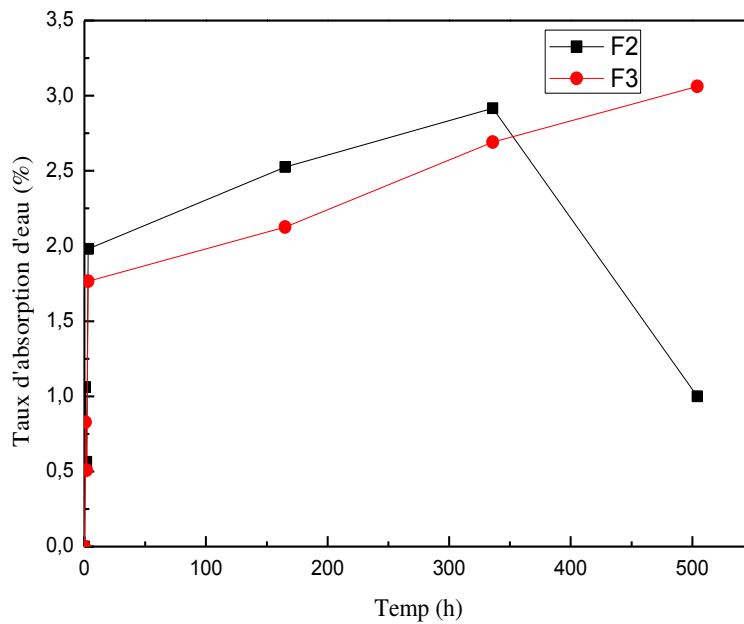


Figure IV.10. Variation du taux d'absorption d'eau des composites Polyester /Fibre de verre à 300 et 450 g/m².

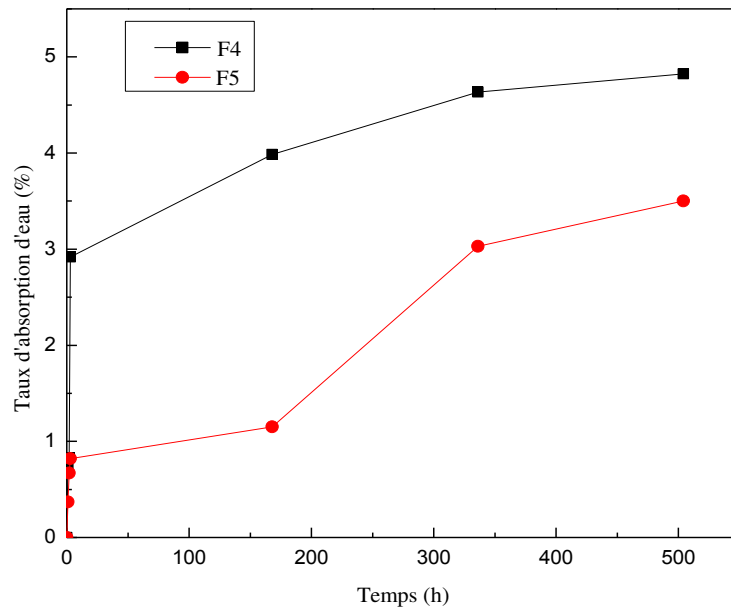


Figure VI.11. Variation du taux d'absorption d'eau de Polyester et Polyester/Jute à 300 et 450 g/m^2 .

Conclusion générale

Conclusion Générale

L'objectif de cette étude est l'effet de la présence de déchets de fibres de jute sur les propriétés des différents composites à base de résine et fibres de verre, ainsi les résultats obtenus montrent:

Essais de traction

- Une amélioration de Module de Young avec l'incorporation de fibres de jute d'où l'obtention d'un matériau rigide.
- Une meilleure déformation est obtenue dans le cas du composite renforcé par la fibre de verre à 300 g/m².
- la force maximale de 130 N/mm² dans le cas du mélange F3 (résine /fibre de verre 450 g/m²).

Test de flexion

- L'incorporation de fibres de jute diminue le module de flexion et la contrainte en flexion néanmoins les composites hybrides présente une contrainte légèrement supérieure à celle du composite résine /fibre de verre 450g/m².
- La déformation augmente avec l'incorporation du jute au composites résine /fibre de verre.

Test au choc

- L'incorporation de fibres de jute diminue la résilience au choc, l'énergie absorbée par le composite résine /fibre de verre (450g/m²) (F3) est de l'ordre de 77kJ/m² comparant à celle de l'hybride résine /fibres de verre (450 g/m²)/ fibres de jute (F1) qui est de l'ordre de 55kJ/m².
- La résilience des composites a augmenté, l'eau s'est comporté comme un plastifiant

Absorption de l'eau

- l'absorption d'eau est favorisée par la présence de fibres de jute. Cette forte absorption est dû principalement au caractère hydrophile des fibres végétales.

Conclusion générale

L'étude menée sur l'élaboration et caractérisation du composite résine/fibres de verre/fibres de jute vient de s'ajouter aux travaux de recherche sur les matériaux et renforcera les connaissances dans le domaine de génie des matériaux.

Enfin d'un point de vue pratique, l'utilisation des déchets de fibres de jute est une voie de la valorisation de déchets pour la préservation l'environnement sain.

En perspectives, certains aspects de cette étude méritent d'être développés par la suite afin d'améliorer les propriétés du matériau. Pour cela la modification chimique de fibres de jute pourrait être envisagée.

Référence

Référence

- [1] Dong. Y, Ghataura. A, Takagi.H, and all. Polylactic acid (PLA) biocomposites reinforced with coir fibres : Evaluation of mechanical performance and multifunctional properties. *J. Compos : Part A* 2014; 63 : 76-84.
- [2] Rashed. A.- H, Islam. M.-A and Rizvi.F-B. Effects of process parameters on tensile strength of jute fiber reinforced thermoplastic composites. *J of Naval.Architecture.and marine Eng* 2006.
- [3] Bax. B, Müssig. J. Impact and tensile properties of PLA/Cordenka and PLA/FLAX composites. *J. Compos. Sci. Technol* 2008; 68: 1601-1607.
- [4] Oksman. K, Skrifvars. M, Selin. J-F.Natural fibres as reinforcement in polylactic acid (PLA) composites.*J. Compos Sci. Technol* 2003; 63: 1317-1324.
- [5] Ochi S. Mechanical properties of kenaf fibers and kenaf/PLA composites. *J. Mechanics of Materials* 2007; 40: 446-452.
- [6] Biswas. S, Kindo. S and Patnaik. A. Effect of Fiber length on Mechanical Behavior of coir fiber Reinforced Epoxy Composites. *J. Fibers and Polym*2011;12: 73-78.
- [7] Pantida.S-D, Yuan. X, Manan. M-A.Evaluationof jute/glass hybrid composite sandwich: Water resistance, Impact properties and life cycle assessment. *J. Reinf. Plas.Compos.*2014; 33: 14-25.
- [8] Bindal. A, Singh. S, Batra. N-K and Khanna. R. Development of glass/jute reinforced polyester composite. *Indian. Journal of Materials Science.* 2013; 1-6.
- [9] F. Bensadoun. « Développement et caractérisation d'un procédés de fabrication de composite et biocomposites à base de nanoparticules d'argile et de résine polyester insaturée destinés à l'industrie du transport » . Mémoire en vue de l'obtention de diplôme de maitrise es sciences appliquées, Département de Génie Mécanique, Université semontréal, 2011 , 156 p.
- [En ligne], disponible sur http://publication.polymtl.ca/569/1/2011/_FaridaBensadoun.pdf

Consulté le 05/04/2018.

Référence

[10] A. Le Duigou. « Etude des mécanismes d'adhérence entre une fibre de lin et le PLLA- Influence d'un traitement faiblement impactant à l'eau ». Comptes Rendus des JNC 17| Poitiers, 2011,09 p.

[11] D. T. Vi Vi. « Matériaux composites fibres naturelles/polymère biodégradables ou non ».Thèse de doctorat, Université de Grenoble (en co-tutelle avec l'université de Hochiminh Ville, vietnam,

[12] P.C. Georgel . « Résines époxydes renforcées avec des fibres naturelles ». Mémoire de maître des sciences, Département de Génie chimique, Université Laval Québec, Canada,2009 ,121 p.

[13] J.LEVEQUE et A. PARISSÉ , « Etude de marché des nouvelles utilisation des fibres végétales », cours Matériaux polymères et Composites,(2006). Disponible sur :

<[http:// www.materiatech_carma.net/html/pdf/Rencontres Matériaux2006.pdf](http://www.materiatech_carma.net/html/pdf/Rencontres_Matériaux2006.pdf)>.Consulté le 01.4.2017.

[14] F. MICHAUD, « Rhéologie de panneaux composites bois/thermoplastiques sous chargement thermomécanique ». Thèse de doctorat, Université Bordeaux1, France, (2003), 256 p.

[15] A. Y. NENONENE, « Elaboration et caractérisation mécanique de panneaux de particules

de tige de kénaf et de bioadhésifs à base de colle d'os, de tannin ou de mucilage ». Thèse de doctorat, Université de Toulouse, France, (2009), 203p.

[16] A. LI, A-T. LE, A. GACOIN, T-H. MAI, M. LACHI, M. REBAY et C. MAALOUF « Matériaux composites en fibres végétales », Université M'Hamed BougaraBoumerdès (Algérie), Colloque International sur les Matériaux et le Développement Durable (CIMDD), (2013).

[17]Abrkakamal.

[18] V.DOTHI, «Matériaux composites à fibres naturelles / polymère biodégradables ou non», Thèse de doctorat en génie des procédés,

Matériaux polymères, Université de Grenoble, France, (2011) ,189p.

Référence

- [19] Société Chimique de France (SCF), «Cellulose», Disponible sur : <http://www.societechimiquedefrance.fr/produit-du-jour/cellulose.html?lang=fr> , Consulté le 10/04/2018
- [20] N. FAALOUS., « Influence du traitement par mercerisation sur les Propriétés physiques, mécaniques, structurale et morphologique des fibres de genêt d'Espagne », Mémoire d'Ingénieur, Faculté de Technologie, Université Ferhat Abbas, Sétif 1 (Algérie), (2011), 65 p.
- [21] S.NEKKAA, « Etude des propriétés d'un nouveau matériau composite A base de polypropylène renforcé par une fibre végétale locale le genêt d'Espagne », Thèse de doctorat d'état Génie des procédés, Génie des polymères, Sétif : UFA-Sétif1, (2007) ,148p.
- [22] Structure de Cellulose, Disponible sur : https://www.researchgate.net/figure/299326092_fig2_Figure-22-Cellulose-structure-adapted-from-GURUNATHAN-et-al-2015 , Consulté le 10/04/2018.
- [23] B. LY, « Nouveaux matériaux composites thermoformables à base de fibres de cellulose », Thèse de Doctorat d'Etat, Institut National Polytechnique (INP) de Grenoble (France), (2008), 215p.
- [24] K.MESSAOUDI, « Matériaux composites à matrice polyéthylène chargé Par de farine de bois : effet de taux et de traitement », », Mémoire de master en génie des procédés, Matériaux polymères, Sétif : UFA-Sétif1, (2014) ,70p.
- [25] C. BATHIAS, « Matériaux composites », L'Usine Nouvelle, Dunod, Paris (France), (2005), 417 p.
- [26] S. THIEBAUD, « Valorisation chimique de composés lignocellulosiques : obtention de nouveaux matériaux », Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique De Toulouse, France, 1995, 205 p.
- [27] B. KHENNAOUI, « Etude, synthèse et obtention de matériaux Composites à partir de Cellulose de Polyacrylamide et de Polystyrène », Mémoire de Magister, Faculté des Sciences, Département de Chimie, Université Mentouri Constantine, Algérie, (2011), pp.168
- [28] P. COLONNA., « Fibres végétales retour vers le future », In : La chimie verte, Lavoisier, Paris, (2006), pp. 139-140.
-

Référence

[29] Structure de la pectine, Disponible sur :

<<http://www.sigmaaldrich.com/life-science/metabolomics/enzyme-explorer/analyticalenzymes/enzymes-for-aer.html> >, Consulté le 14/04/2018.

[30] ADEME, « Evaluation de la disponibilité et l'accessibilité de fibres végétale à usages matériaux en France », Paris (France), (2011), disponible sur : www.ademe.fr/servlet/getDoc?cid=96&m=3&id=76290&p1=30&ref=12441, consulté le 20/04/2018.

[31] ADEME, « Evaluation de la disponibilité et l'accessibilité de fibres végétale à usages matériaux en France », Paris (France), (2011), disponible sur : www.ademe.fr/servlet/getDoc?cid=96&m=3&id=76290&p1=30&ref=12441, consulté le 04/05/2018.

[32] V. Bellenger, J. Verdu and E. Morel. *Journal of Materials Science* 24, 1989, pp 63-68.

[33] P. Bonniau. “effets de l'absorption d'eau sur les propriétés électriques et mécaniques des matériaux composites a matrice organique”. Thèse, Mars 1983.

[34] B. Dewimille, A.R. Bunsell; “The modelling of hygrothermal aging in glass fibre reinforced epoxy composites” ; *Journal of Physics D*, 15,1982, p2079

[35] C.H. Shen, G.S. Springer. “Moisture absorption and desorption of composite materials”. *Environmental effects on composites materials*, ed G.S. Springer, Technomic 1981, p15.

[36] J. Weiss, C. Bord. “Les matériaux composites“. CPE Edition (Edition de l'usine nouvelle), Paris, 1983.

[37] E. L. McKague, J. D. Reynolds and J. E. Halkias. *Journal of Applied Polymer Science*, 22, 1978, pp 1643-1654.

[38] S. Popineau. “ Durabilité en milieu humide d'assemblages structuraux colles type aluminium/composite ”. Thèse, ENSMP, 2005, 249p.

[39] B. Dewimille. “Vieillissement hygrothermique d'un matériau composite fibres de verre-résine époxyde”. Thèse, ENSMP, Juillet 1981.

Référence

- [40] A.C. Loos, G.S. Springer. "Moisture absorption of graphite-epoxy composites immersed in liquids and in humid air". *J. Composites Materials*, vol. 13, 1979, 131p.
- [41] A.C. Loos, G.S. Springer. "Moisture absorption of graphite-epoxy composition immersed in liquids and in humid air". Ed. G.S. Springer, *Environmental effects of composite Materials*, 1981, pp 34-49.
- [42] Y. Weitsman. "Effects of fluctuating Moisture and temperature on the mechanical response of resin plate". *Journal of Applied Mechanics*, 44(4), 1977, pp 571-76.
- [43] N. DJILALI, « Etude et valorisation du grignon d'olive dans le domaine des composites », Mémoire de Magister, Faculté de Technologie, Université Abderrahmane Mira, Béjaïa (Algérie), (2008), 92 p.
- [44] M. MALHA, « Mise en œuvre, caractérisation et modélisation de matériaux composites : polymère thermoplastique renforcé par des fibres de Doum », Thèse de Doctorat d'Etat, Faculté des Sciences, Université Mohammed V-Agdal, Rabat (Maroc), (2013), 151 p.
- [45] D. SEDAN, « Etude des interactions physico-chimiques aux interfaces fibres de Chanvre/ciment. Influence sur les propriétés mécaniques du composite », Thèse de Doctorat d'Etat, Faculté des Sciences et Techniques, Université de Limoges (France), (2007), 128 p.
- [46] Y. XIE, C.A.S. HILL, Z. XIAOA, H. MILITZA et C. MAIA, « Silane coupling agents used for natural fiber/polymer composites : a review », *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, (2010), vol. 41, pp 806-819.
- [47] D. GAY, « Matériaux composites », Edition Hermès, Paris (France), (1987), 593 p.
- [48] G. ALIPRANDI, « Matériaux réfractaires et céramiques techniques : éléments de céramurgie et de technologie », Edition Septima, Paris (France), (1989), 612 p.
- [49] R. BENAMARA, « Effet du traitement de la surface des fibres sur les propriétés du composite polypropylène/fibres de Genêt d'Espagne », Mémoire de Magister, Faculté de Technologie, Université Ferhat Abbas, Sétif 1 (Algérie), (2010), 66 p.
- [50] B. LY, « Nouveaux matériaux composites thermoformables à base de fibres de cellulose », Thèse de Doctorat d'Etat, Institut National Polytechnique (INP) de Grenoble (France), (2008), 215p.
-

Référence

- [51] C. BATHIAS, « Matériaux composites », L'Usine Nouvelle, Dunod, Paris (France), (2005), 417 p. [18] B. MONTIES, « Les polymères végétaux », Edition Bordas, Paris (France), (1980), 345 p. [19] C.A.R.M.A, « Glossaire des matériaux composites », (2006), disponible sur : http://www.materiatech-carma.net/html/pdf/GlossaireMateriauxComposites_CARMA.pdf, consulté le 03/04/2018.
- [52] B. MONTIES, « Les polymères végétaux », Edition Bordas, Paris (France), (1980), 345 p.
- [53] C.A.R.M.A, « Glossaire des matériaux composites », (2006), disponible sur : http://www.materiatech-carma.net/html/pdf/GlossaireMateriauxComposites_CARMA.pdf, consulté le 03/04/2018.
- [54] F. BERBAIN et A. CHEVALIER, « Mise en œuvre des composites », Techniques de l'Ingénieur, (1997), vol. A 3 720, 34 p.
- [55] D. GAY, « Matériaux composites », Edition Hermès, Paris (France), (2005), 668 p.
- [56] S. BOUZOUITA, « Optimisation des interfaces fibre/matrice de composites à renfort naturel », Thèse de Doctorat d'Etat, Ecole Nationale d'Ingénieurs de MonastirEcole Centrale de Lyon (France), (2011), 179 p.
- [57] J.M. BERTHELOT, « Matériaux composites : comportement mécanique et analyse des structures », Editions Tec&Doc, Paris (France), (1999), 638 p.
- [58] M. RAGOUBI, « Contribution à l'amélioration de la compatibilité interfaciale fibres naturelles/matrice thermoplastique via un traitement sous décharge couronne », Thèse de Doctorat d'Etat, Université Henri Poincaré Nancy 1 (France), (2010), 186 p.
- [59] I. SLAMA, « Caractéristiques physico-mécaniques des composites Bois-plastiques provenant de la valorisation des résidus des panneaux MDF-étude des possibilités de recyclage », Mémoire de Maîtrise en Ingénierie, Université du Québec à Chicoutimi (Canada), (2009), 115 p.
- [60] F. MICHAUD, « Rhéologie de panneaux composites Bois/thermoplastiques sous chargement thermomécanique », Thèse de Doctorat d'Etat, Université Bordeaux 1 (France), (2003), 256 p.
-

Référence

- [61] A.K. BLEDZKI, S. REIHMANE et J. GASSAN, « Thermoplastics reinforced with Wood fillers », A literature review, *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, vol. 37, (1998), pp 451-468.
- [62] G.A. BIBO et P.J. HOGG, « The role of reinforcement architecture on impact damage mechanisms and post-impact compression behaviour », *Journal of Materials Science*, (1996), vol. 31, pp 1115-1137.
- [63] D.M. PANAITESCU, Z.VULUGA, D. DONESCU, M.DAN, S. SEVER et D. FLOREA, « Effect of interface in natural fiber-polymer composites », *Revue Romaine de Chimie*, (2007), vol. 52, pp 409-414.
- [64] J. SOUCY, « Potentiel d'utilisation des fibres de papier dans la conception de composites Bois-polymères par une technologie d'extrusion », *Mémoire de Maîtrise en Ingénierie*, Université du Québec (Canada), (2007), 149 p.
- [65] A. ASHORI et A. NOURBAKHSI, « Reinforced polypropylene composites : effects of chemical compositions and particle size », *Bioresource Technology*, (2010), vol.101, pp 2515-2519.
- [66] D. SCIDA, M. ASSARAR, R. AYAD et C. POILÂNE, « Effet de l'humidité sur le comportement mécanique des composites à fibres de lin », *Association pour les Matériaux Composites (AMAC), 17èmes Journées Nationales sur les Composites (JNC 17), Poitiers-Futuroscope (France)*, (2011), pp 1-9.
- [67] M. TAKATANIL, H. ITO, S. OHSUGI, T. KITAYAMA, M. SAEGUSA, S. KAWAI et T. OKAMOTO, « Effect of lignocellulosic materials on the properties of thermoplastic polymer/Wood composites », *Holzforschung, International Journal of the Biology, Chemistry, Physics, and Technology of Wood*, (2000), vol. 54, pp 197-200.
- [68] S. BOUHANK, « Effet d'absorption d'eau sur le comportement mécanique des composites PP/ farine », *Mémoire de Master, Faculté de Technologie, Université Ferhat Abbas, Sétif 1 (Algérie)*, (2012), 56p.
- [69] J. WEISS et C. BORD, « Les Matériaux composites : structures, constituants, fabrication », *Edition de l'Usine Nouvelle, Paris (France)*, (1983), pp 5-44.
-

Référence

[70] R.G. RAJ et B.V. KOKTA, « Mechanical properties of surface-modified cellulose fiber-thermoplastic composites », *Journal of Applied Polymer Science*, (1989), vol. 38, pp 76-87.

[75] M.P. WOLCOTT et K.A. ENGLUND, « Technology review of Wood-plastic composites », *Proc 33rd International Particleboard & Composite Materials Symposium*, Pullman, Washington (United States of America), (1999), pp 12-15.

[71] S. NEKKAA, « Etude des propriétés d'un nouveau matériau composite à base de polypropylène renforcé par des fibres végétales locale le Genêt d'Espagne », Thèse de Doctorat d'Etat, Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Université Ferhat Abbas, Sétif 1 (Algérie), (2007), 148 p.

[72] M. NARDIN, « Interfaces fibre-matrice dans les matériaux composites », *Revue de Composites et des Matériaux Avancés*, Lavoisier, (2006), vol. 16, pp 49-62.

[73] B. LIAO, Y. HUANG et G. CONG, « Influence of modified Wood fibers on the mechanical properties of Wood fiber-reinforced polyethylene », *Journal of Applied Polymer Science*, (1997), vol. 66, pp 1561-1568.

[74] P. J. HERRERA-FRANCO et A. VALADEZ-GOUNZALEZ, « A study of the mechanical properties of short natural-fiber reinforced composites », *Composites Part B: Engineering*, (2005), vol. 36, pp 597-608.

[75] C. POUTEAU, « Matériaux composites à renforts fibres naturelles d'origine végétale », *Pole Européen de Plasturgie, Supplément Technique n. 7*, (2004), 4 p.

Résumé

L'objectif de ce travail consiste à valoriser les déchets de fibres de jute provenant de l'industrie du tapis dans le développement d'un composite à base de résine polyester insaturée et fibre de verre. En premier lieu, préparation des mats de jute avec une méthode de tissage, ensuite nous avons préparé des composites de composition différentes en utilisant deux mats de fibres de verre à différentes densités 300g/m^2 et 450g/m^2 et mat de fibre de jute une matrice thermosettable la résine polyester. Nous avons élaboré les composites avec méthode de moulage. Les composites obtenus ont été caractérisés (Propriétés en traction, en flexion, résistance au choc Charpy et absorption de l'eau. Les résultats ont montré une amélioration du module de Young, déformation en flexion. Le phénomène de vieillissement dans l'eau a amélioré la résistance au choc. Mots clés : fibres de jute, fibres de verre, propriétés mécaniques

Abstract

The objective of this work is to valorize jute fiber waste from the carpet industry in the development of a composite based on unsaturated polyester resin and fiberglass. Firstly, preparing the jute mats with a weaving method, then we prepared composites of different composition using two mats of glass fiber at different density $300\text{g} / \text{m}^2$ and $450\text{g} / \text{m}^2$ and matte jute fiber a matrix thermosetting polyester resin. We have developed composites with molding method. The composites obtained were characterized (tensile properties, flexural properties, Charpy impact resistance and water absorption), the results showed an improvement of Young's modulus, flexural deformation, the aging phenomenon in water improved. impact resistance. Keyword : jute fiber, glass fiber, mechanical properties

ملخص

الهدف من هذا العمل هو جمع نفايات ألياف الجوت من صناعة السجاد في تطوير مركب ألياف البوليستر غير مشبع. أولاً إعداد الحصير الجوت مع طريقة النسيج ثم إعداد المركبة من تكوين مختلف باستخدام الحصير، اثنين من الألياف الزجاجية في كثافة مختلفة و حصيرة الألياف الجوت مصفوفة بالحرارة راتجات البوليستر. قمنا بتطوير المركبات مع طريقة صب ثم وصف المركبات التي تم الحصول عليها (خصائص الشد، المركبات الانتشاء، مقاومة تأثير الصدمات و امتصاص الماء). أظهرت النتائج تحسناً في معامل الشد، التشوه في الانتشاء. ادت ظاهرة الشيخوخة في الماء إلى تحسين تأثير المقاومة الكلمات المفتاحية ألياف الجوت الألياف الزجاجية الخواص الميكانيكية.