

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE

L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE UNIVERSITE

MOHAMED BOUDIAF – M'SILA

FACULTE : Des Sciences

DEPARTEMENT : De Chimie

N° :.....



DOMAINE : Sciences de la matière

FILIERE : Chimie

OPTION : Chimie Des Matériaux

Mémoire présenté pour l'obtention

Du diplôme de Master Académique

Par :

Abbas Meriam

Ben Kouider Amira

Intitulé

**Etude théorique sur les fibres végétales
(Luffa) pour préparer un matériau composite**

Soutenu devant le jury composé de :

Dr. Djerioui Ammar

Université de M'sila

Président

Dr. Laib Nouri

Université de M'sila

Rapporteur

Dr. kheniche Abd El hakim

Université de M'sila

Examineur

Année universitaire : 2023/2024

REMERCIEMENTS

Tout d'abord : nous remercions dieu pour tout ce qui nous a procréé et procuré depuis notre naissance et de nous avoir aidé à conclure ce travail.

En préambule à ce mémoire nous souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.

Pour cela nous exprimons tout d'abord nos gratitudee et nos plus vifs remerciements à notre encadreur **Dr. LAIB NOURI** pour son soutien sa patience sa présence ses conseils judicieux et pertinents.

De remercier les membres de jury pour l'honneur qu'ils nous avons fait d'avoir assisté à notre soutenance.



إهداء

عظم المراد فهان الطريق، فجاءت لذة الوصول ..

" وَأَخِرُ دَعْوَاهُمْ أَنْ الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ "

الحمد لله ما تم جهد ولا ختم سعى الا بفضلله وما تخطى العبد من عقبات وصعوبات الا بتوفيقه ومعونته، اللهم لك الحمد حتى ترضى ولك الحمد اذا رضيت ولك الحمد بعد الرضى، اللهم انفعني بما علمتني وانفع بي فالحمد لك على حسن التمام والختام .

أرى مرحلتي الدراسية قد شارفت على الانتهاء بالفعل، بعد تعب ومشقة دامت سنين في سبيل الحلم والعلم.. لم تكن الرحلة قصيرة ولا ينبغي لها أن تكون، لم يكن الحلم قريبا ولا الطريق كان محفوفا بالتسهيلات لكنني فعلتها و الآن مرحبا بالأحلام المحققة والطموح السامي والسعادة بعد طول تعب.

وبكل حب أهدي ثمرة نجاحي وتخرجي :

إلى الذي زين اسمي بأجمل الألقاب، من دعمني بلا حدود وأعطاني بلا مقابل، إلى من علمني أن الدنيا كفاح وسلاحها العلم والمعرفة، داعمي الأول في مسيرتي وسندي وقوتي وملأذي بعد الله ..

فخري واعتزازي : والدي .

إلى من جعل الله الجنة تحت أقدامها، واحتضني قلبها قبل يديها وسهلت لي الشدائد بدعائها، إلى القلب الحنون والشمعة التي كانت في الليالي المظلمات، سر قوتي ونجاحي ..

جنتي : والدتي .

" لا يعلو فضل على فضلكما حفظكما الله لي وحفظكما بالصحة والعافية "

إلى توأم روحي جسر المحبة والعتاء مصدر قوتي : أختي وبناتها يقين وحنين .

إلى من تحلت بالإخاء وتميزت بالوفاء والعتاء حبيبتي ورفيقتي في المشوار : صديقتي " هديل " .

إلى حبيبتي الغالية " فقيدتي جدتي " لطالما تمنيت أن تقر عينها برويتي في يوم كهذا .. إلى من توسدت التراب قبل أن تراني خريجة .. فرحتي تنقصها وجودك ونجاحي ينقصه فخرك بي .

إلى جميع من أمدوني بالقوة والتوجيه و آمن بي ودعمني في الأوقات الصعبة خاصة أختي وصديقتي نسيمة دمتي لي سندا لا عمر له .

وفي الأخير إلى نفسي التي صبرت واجتهدت إلى أن حققت .. تخرجت بعزم وإصرار ووصلت لنهاية المشوار وها هو تاج العلم قد توجت به وقد نلت ما رجوته من تعب الليالي، الحمد لله الذي انعم واكمم واتم الحمد لله دائما وأبدا .

Amira



اهداء

"بسم خالقي وميسر اموري وعصمت أمري لك

لك كل الحمد والامتنان "

وبكل ما آتيت من مشاعر الحب أهدي بحث تخرجي

إلى من كلله لله بالهيبه والوقار.. إلى من أحمل اسمه بكل فخر إلى من كان ومزال مصدر الدعم والعطاء إلى الرجل الأبرز في حياتي الى حبيبي وسندي وظلعي الثابت الذي لطالما عاهدته بهذا النجاح ها أنا اتممت وعدي وأهديه اليك

(أي الغالي صالح عباس)

إلى من أضاءت في ليالي العتمة طريقي إلى من أفنت عمرها في سبيل ان أحقق طموحي وأحلق في أعلى المراتب إلى ملاكي في الحياة إلى من كان دعاؤها سر نجاحي وحنانها بلسم جراحي الى امانى ومأمني

(جنتي وملاكي ابي)

الى ضلعي الثابت وأمان أيامي إلى من شددت عضدي بهم فكانوا لي ينابيع ارتوي منها الى خيرة أيامي وصفوتها إلى قررة عيني

(إخواني وأخواتي الغاليين)

إلى التي لاقتني بها الأيام في الجامعة وأصبحت الأقرب لي داعمتي وزميلتي في بحث التخرج

(صديقتي أميرة)

لكل من كان عوناً وسنداً في هذا الطريق ... للأصدقاء والأوفياء ورفقاء السنين وأصحاب الشدائد والأزمات إلى كل من أفاضني بمشاعره ونصائحه المخلصة

لله الشكر كله له أن وفقني لهذه اللحظة فالحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على نبيه محمد

Abbas hadil meriam

Liste Des Tableaux

Tableau I.1. Propriétés morphologiques de quelques fibres végétales.

Tableau I.2 : La composition chimique des fibres végétales.

Tableau.I.3 : Propriétés mécaniques des fibres naturelles en comparaison avecdes fibres de renforcement conventionnelles.

Tableau III.1 : Classification botanique de luffa

Tableau III.2 : Composition chimique des fibres de Luffa .

Tableau III.3 : Perte de poids en pourcentage des fibres de Luffa non traitées et traitées à différentes températures.

Tableau III.4 : Données spectrales FTIR des fibres de luffa non traitées et traitées.

Tableau III.5 : Variation de l'indice cristallin et du pourcentage cristallin de la fibre de luffa non traitée et traitée.

Liste Des Figures

Figure I.01 : Différents types de fibres végétales

Figure I.02 : Structure du bois (observations multi échelles)

Figure I.03 : Modèle de description de la structure d'une fibre végétale

Figure I.05 : Pont hydrogènes intramoléculaire et intermoléculaire entre deux macromolécules adjacentes de cellulose

Figure I.06 : Structure chimique partielle de deux hémicelluloses : (A) O-acétyl-4-O-méthylglucuronyle de feuillus et (B) Arabino-4-O-méthylglucuronoxylane de résineux

Figure I.07 : Précurseurs de la biosynthèse de la lignine

Figure I.08 : Exemple générique de la macromoléculaire lignine

Figure I.09 : Présentation de l'angle micro-fibrillaire.

Figure I.10 : Processus de dégradation thermique d'une fibre végétale (Thermogrammes TG/DTG)

Figure II.01 : Schéma d'un matériau composite.

Figure II.02 : Les familles de matrices

Figure II.03 : Les familles de renforts

Figure II.04 : Les différentes formes des renforts fibres de verre

Figure II.05 : Composite monocouche.

Figure II.06 : Plaque stratifiée

Figure II.07 : Composite sandwich.

Figure III.1 : Luffa sèche

Figure III. 2 : Fruit de Luffa

Figure III.3 : Le Luffa acutangula.

Figure III.4 : Le Luffa cylindrica

Figure III.5 : Le Luffa operculata.

Figure III.6 : Utilisation du luffa comme produit de toilette.

Figure III.7 : Utilisation du luffa comme produit pharmaceutique.

Figure III.8 : Utilisation du luffa comme médicament.

Figure III.9 : Utilisation du luffa comme produit Cosmétique.

Figure III.10 : Absorption d'eau en fonction du temps d'immersion dans l'eau des échantillons d'éponge de luffa traités et non traités.

Figure III.11 : Analyse thermogravimétrique des fibres de Luffa cylindrica traitées et non traitées.

Figure III.12 : Spectres FTIR des fibres de Luffa cylindrica traitées et non traitées.

Figure III.13 : Diagramme de diffraction des rayons X (XRD) des fibres de Luffa cylindrica non traitées et traitées.

Figure III.14 : Propriétés en traction et en flexion du composite époxy à fibres de luffa non traitées et traitées

Figure III.15 : Module de tension et de flexuration de fibre époxy composite Luffa non traitée et traite.

Figure III.16 : ILSS et résistance à l'impact du composite de fibre époxy Luffa non traité et traité.

Résumé :

Cette note porte sur une étude théorique des matériaux composites à base de fibres végétales, en se concentrant sur les propriétés de ces fibres, leurs méthodes de traitement, ainsi que les techniques de fabrication des matériaux composites en fonction des fibres végétales. L'étude théorique montre que les matériaux composites végétaux possèdent des propriétés prometteuses pour de nombreuses applications.

Les études précédentes que nous avons recueillies pour les analyses appliquées montrent également l'impact du traitement chimique sur les fibres végétales.

Abstract:

This note deals with a theoretical study of plant fiber composite materials, focusing on the properties of these fibers, their processing methods, and the manufacturing techniques of composite materials based on plant fibers. The theoretical study shows that plant composite materials have promising properties for many applications.

Previous studies that we have collected for applied analyses also show the impact of chemical treatment on plant fibers.

المخلص

تتناول هذه المذكرة دراسة نظرية لمواد مركبة تعتمد على الالياف النباتية ونركز على خصائص هذه الالياف وطرق معالجتها و تقنيات تصنيع المواد المركبة وفقا للالياف النباتية حيث تظهر الدراسة النظرية ان المواد المركبة النباتية تمتلك خصائص واعدة للإستخدام في العديد من التطبيقات .

كما أظهرت الدراسات السابقة التي قمنا بجمعها لتحاليل المطبقة مدى تأثير المعالجة الكيميائية على الالياف النباتية .

SOMMAIRE

Introduction générale

Chapitre I : Généralité sur les fibres végétales et les traitements chimiques

I.1. Définition de la fibre végétale	04
I.2. Classification des fibres végétales	04
I.3. Structure des fibres végétales	04
I.4. Morphologie des fibres végétales	05
I.5. Composition chimique des fibres végétales	06
I.5.1. La cellulose	07
I.5.2. L'hémicellulose	07
I.5.3. La lignine	08
I.6. Propriétés des fibres végétales	09
I.6.1. Propriétés physiques des fibres végétales	09
I.6.1.1. Densité	09
I.6.1.2. Dimensions	10
I.6.1.3. Angle micro-fibrillaire	10
I.6.2. Propriétés mécaniques des fibres végétales	10
I.6.3. Propriétés thermiques des fibres végétales	12
I.7. Traitements chimiques	12
I.7.1. Traitements chimiques	12
I.7.1.1. Traitement alcalin	13
I.7.1.2. Traitement par permanganate de potassium	13
I.7.1.3. Traitement par silane	14
I.7.1.4. Traitement par acétylation	14
I.7.1.5. Traitement plasma	15
I.7.1.6. Traitement par acide stéarique	15

Chapitre II : Généralités sur les matériaux composites

II. Historique	17
II.1 Définition	17
II.2 Constituants des matériaux composites	18
II.2.1 La matrice	18
II.2.1.1 Les différents types de matrices	18
II.2.1.1.1 Les matrices organiques	18
II.2.1.1.1.1 Les résines thermodurcissables	19
II.2.1.1.1.2 Les résines thermoplastiques	19
II.2.1.1.2 Les matrices carbonées	20
II.2.1.1.3 Les matrices minérales	20
II.2.1.1.3.1 Les matrices métalliques	20
II.2.1.1.3.2 Les matrices céramiques	20
II.2.2 Renforts	21
II.2.2.1 Différents types de renforts	21
II.2.3 Les charges et les additifs.....	22
II.2.3.1 Les charges	22
II.2.3.2 Les additifs	23
II.3 Structure des matériaux composites	23
II.3.1 Les monocouches	23
II.3.2 Les stratifiés	24
II.3.3 Les sandwichs	24
II.4 Classifications des matériaux composites	24
II.4.1 Les composites à matrices polymères ou organiques (CMO)	25
II.4.2 Les composites à matrices céramiques (CMC)	25
II.4.3 Les composites à matrices métalliques (CMM)	25
II.5 Caractéristiques générales des matériaux composites	25
II.6 Domaine d'applications des matériaux composites	25

II.7 Les avantages et les inconvénients des matériaux composites	26
--	----

Chapitre III : Luffa et leurs applications

III.1 Partie 01 : Le luffa

III.1.1 Historique	28
--------------------------	----

III.1.2 Définition	28
--------------------------	----

III.1.4 Descriptions du plant	29
-------------------------------------	----

III.1.3 Classification botanique	29
--	----

III.1.4.1 Propriétés physiques	30
--------------------------------------	----

III.1.4.2 Stabilité chimique de la Luffa	30
--	----

III.1.4.2 .1 Action des acides	30
--------------------------------------	----

III.1.4.2.2 Action des oxydants	30
---------------------------------------	----

III.1.5 Types de Luffa	30
------------------------------	----

III.1.5.1 Luffa acutangula	30
----------------------------------	----

III.1.5.2 Luffa cylindrica	30
----------------------------------	----

III.1.5.3 Luffa operculata	31
----------------------------------	----

III.1.6 Composition chimique des fibres de Luffa	31
--	----

III.1.7 Caractérisation morphologique	32
---	----

III.1.8 Utilisation de Luffa	32
------------------------------------	----

III.1.8.1 Domestique	32
----------------------------	----

III.1.8.2 Pharmaceutique	32
--------------------------------	----

III.1.8.3 Médicale et biologique	33
--	----

III.1.8.4 Cosmétique	33
----------------------------	----

III.2 Partie 02 : les études expérimentales.

III.2.1 Étude de l'absorption d'eau des fibres végétales	34
--	----

III.2.2 Résultats et discussion	34
---------------------------------------	----

III.2.2.1 Test d'absorption d'eau	34
---	----

III.2.3 Les analyses des fibres végétales	35
---	----

III.2.3.1 Analyse thermogravimétrique (ATG)	35
---	----

III.2.3.1.1 Définition	35
III.2.3.1.2 Principe	35
III.2.3.2 Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR)	35
III.2.3.2.1 Définition	35
III.2.3.2.2 Principe	36
III.2.3.3 La Diffraction des Rayons X (DRX)	36
III.2.3.3.1 Définition	36
III.2.3.3.2 Principe	36
III.2.4 Matériel des analyse études.....	36
III.2.5 Traitement chimique de la fibre de Luffa cylindrica	37
III.2.5.1 Traitement alcalin	37
III.2.5.2 Traitement au chlorure de benzoyle	37
III.2.5.3 Traitement au permanganate	37
III.2.6 Analyse 01 ATG	37
III.2.6.1 L'analyse thermogravimétrique (ATG)	37
III.2.6.2 Résultats et discussion de l'analyse ATG.....	37
III.2.7 Analyse 02 FTIR	38
III.2.7.1 La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR)	38
III.2.7.2 Résultats et discussion de l'analyse FTIR	39
III.2.8 Analyse 03 DRX	40
III.2.8.1 La diffraction des rayons X (DRX)	41
III.2.8.2 Résultats et discussion de l'analyse DRX	41
III.2.9 Les analyses des matériaux composites	42
III.2.9.1 Influence de la modification chimique sur les propriétés mécaniques	42

Introduction générale:

Ces dernières années, l'emploi des fibres végétales en tant que renfort dans les matériaux composites a connu une croissance significative [1-4]. Ce bénéfice découle de la combinaison de différents bénéfices tels que : un coût bas, une densité faible, une non-toxicité, des propriétés spécifiques élevées. Toutefois, il existe plusieurs obstacles liés à l'intégration de ces fibres dans les matrices polymères, notamment l'incompatibilité entre les fibres et la matrice. Il est possible d'améliorer l'adhérence entre la fibre et la matrice en modifiant la topologie de la surface de la fibre. La fibre naturelle est un type de sources renouvelables et une nouvelle génération de renforts et de suppléments pour les matériaux à base de polymères. Le développement des matériaux composites à base de fibres naturelles ou de composites écologiques a récemment été un sujet brûlant en raison de la sensibilisation mondiale croissante à l'environnement. Les fibres naturelles sont des matériaux qui peuvent remplacer les matériaux synthétiques et ses produits connexes pour les applications avec moins de poids et d'économie d'énergie. Différents traitements offrent la possibilité de modifier la surface des fibres. Grâce à ces traitements, la mouillabilité de la fibre avec la matrice est améliorée et un lien solide est créé entre la fibre et la matrice. En outre, une bonne adhérence à l'interface favorise l'amélioration du transfert de charges entre les fibres et la matrice, ce qui entraîne une amélioration des propriétés mécaniques [5,6].

Le fait d'utiliser des fibres végétales comme renfort pour les matériaux composites présente de nombreux bénéfices. Tout d'abord, cette révolution conduit progressivement à une révolution dans le domaine industriel, en particulier dans le secteur de l'automobile, les fibres végétales répondent idéalement au critère de légèreté, ce qui améliore la recyclabilité des véhicules. Les fibres sont largement accessibles à un prix abordable et leur utilisation dans le domaine de la construction offre de nouvelles opportunités pour les matières agricoles. En outre, l'utilisation des fibres végétales permet de diminuer les conséquences environnementales par rapport aux composites classiques, car elles sont des matières premières renouvelables, biodégradables, neutres aux émissions de dioxyde de carbone (CO₂) et nécessitent peu d'énergie pour leur production. Dans les pays qui ne sont pas très industrialisés, les fibres végétales offrent une alternative économique et surtout respectueuse de l'environnement aux fibres synthétiques classiques (telles que les fibres métalliques, minérales ou polymériques)[7]. Aujourd'hui, on retrouve différentes fibres végétales : lin, chanvre, jute, sisal, kenaf, bois.

Le luffa, également connu sous le nom de loofah, est une plante grimpante tropicale de la famille des cucurbitacées. Il est souvent cultivé pour ses fruits fibreux, qui sont utilisés comme éponge naturelle dans de nombreux produits de soins corporels. En ce qui concerne les matériaux composites, le luffa présente un grand intérêt en raison de sa structure fibreuse légère mais robuste, ce qui en fait un candidat prometteur pour renforcer les matériaux composites. Ces composites sont utilisés dans diverses applications, notamment dans l'industrie automobile, la construction et même l'aérospatiale, en raison de leur résistance et de leur légèreté. En exploitant les propriétés du luffa, on peut créer des matériaux composites durables.

Le travail qui nous a été réalisé sera présenté dans ce mémoire de fin d'étude en trois chapitres présentée comme suite :

La première chapitre étudie en général les fibres végétales et leur traitement chimique (définition, caractéristiques générales, classification ...).

Dans le deuxième chapitre, une recherche bibliographique est menée sur les matériaux composites, incluant leur définition, leurs exemples d'utilisation et d'application, ainsi que les composants des matériaux composites et les différentes caractéristiques des résines thermoplastiques et thermodurcissables. De même que les bénéfices et les inconvénients des composites...).

Dans le troisième chapitre, nous aborderons les recherches effectuées sur les fibres de luffa. Les résultats expérimentaux obtenus lors des essais de traitement ont été conclus et présentés.

À la fin du mémoire, une conclusion générale réunit une synthèse des résultats et une présentation des perspectives à prendre en compte lors d'études supplémentaires.

Références de l'introduction

- [1] Faulstich de Paiva JM., Frollini E., Unmodified and Modified Surface Sisal Fibers as Reinforcement of Phenolic and Lignophenolic Matrices Composites : Thermal Analyses of Fibers and Composites. *Macromol, Material and Engineering*, 291, 405-417, 2006.
- [2] Alvarez VA., Vázquez A., Influence of fiberchemical modification procedure on the mechanical properties and water absorption of MaterBi-Y/sisal fiber composites, *Composites : Part A*, 37, 1672–1680, 2006.
- [3] Sreekala MS., Kumaran MG., Seena J., Maya J., Oil Palm Fibre Reinforced Phenol Formaldehyde Composites: Influence of Fibre Surface Modifications on the Mechanical Performance, *Applied Composite Materials*, 7, 295–329, 2000.
- [4] Al-Khanbashi A., Al-Kaabi K., Hammami A., Date Palm Fibers as Polymeric Matrix Reinforcement: Fiber Characterization, *Polymer Composites*, 26, 486-497, 2005.
- [5] Al-Kaabi K., Al-Khanbashi A., Hammami A., Date Palm Fibers as Polymeric Matrix Reinforcement : DPF/Polyester Composite properties, *Polymer Composites*, 26, 604-613, 2005.
- [6] J. L. Toupe, "Optimisation des propriétés mécaniques de composites à base de fibres naturelles: application à un composite de fibre de lin avec un mélange de polyéthylène/polypropylène d'origine post-consommation," Thèse de doctorat, Université Laval, Québec, Canada, 2015
- [7] C. Magniont, « Contribution à la formulation et à la caractérisation d'un écomatériau de construction à base d'agroressources », Thèse de doctorat, Université de Toulouse, France, 2010, p343.

Chapitre I :
Les fibres végétales et les traitements chimique

I.1. Définition de la fibre végétale :

Les fibres végétales sont des structures biologiques fibrillaires composées de cellulose, hémicelluloses et de lignine.

La proportion d'extractibles non azotés, de matière protéique brute, de lipides et de matières minérales est relativement faible. Ces composants varient considérablement en fonction de l'espèce, de l'âge et des organes de la plante.[1]

I.2. Classification des fibres végétales :

En général, les fibres végétales sont classées en différentes catégories en fonction de leurs structures :

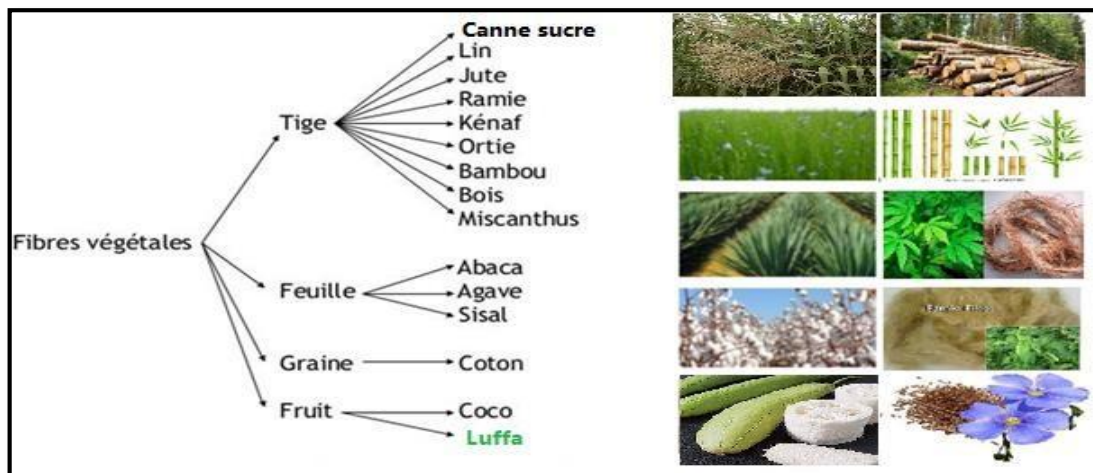


Figure I.01 : Différents types de fibres végétales

I.3. Structure des fibres végétales :

La fibre végétale est le renfort qui est constitué par les couches de microfibrilles cellulosiques en partie cristalline. Ce dernier est enrobé d'une matrice polysaccharidique amorphe (hémicellulose et pectine) qui est associée par liaison hydrogène et covalentes à la lignine [2].

La fibre végétale est composée de plusieurs parois parallèles à l'axe de la fibre et disposée en couche superposée dans le sens radiale. Ces différentes couches qui forment la lamelle mitoyenne, la paroi primaire et la paroi secondaire. Ces dernières bordent un lumen de diamètre variable suivant l'espèce. La paroi secondaire est composée de trois couches de microfibrilles (S1, S2, S3) (Figure I.02).

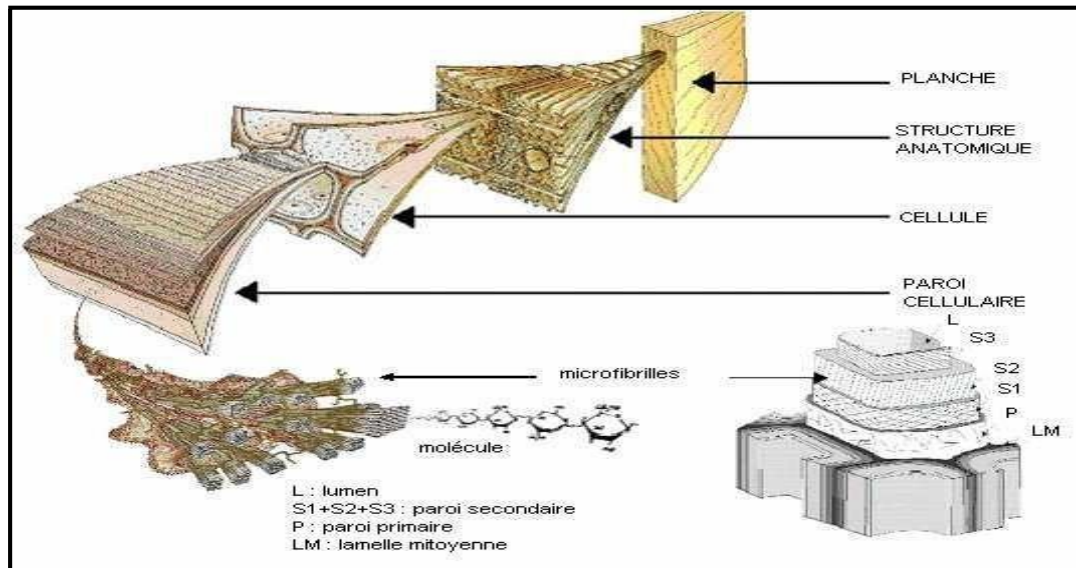


Figure I. 2 : Structure du bois (observations multi échelles) [1]

Les microfibrilles décrivent par rapport à l'axe de la fibre, un angle micro fibrillaire (MAF) dont la valeur varie d'une espèce à l'autre. L'orientation des microfibrilles par rapport à l'axe de la cellule joue un grand rôle dans les propriétés mécaniques des parois des fibres, plus que l'angle des microfibrilles augmente, le module de Young (une mesure de la rigidité) décroît, tandis que l'extensibilité des parois augment [3].

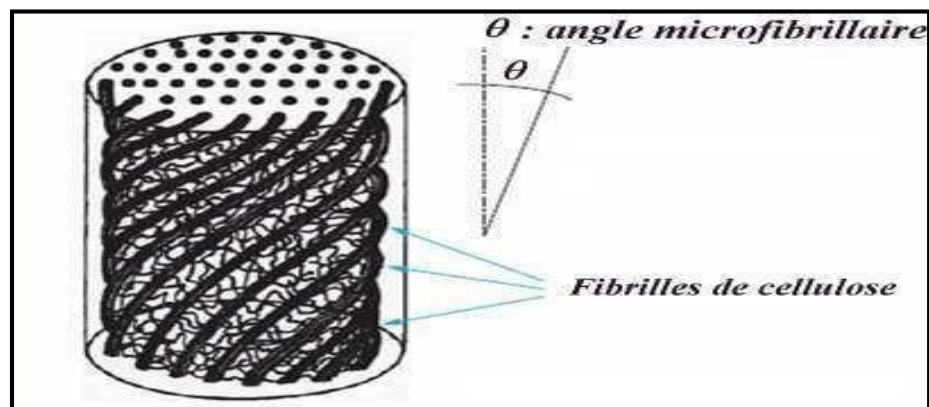


Figure I. 3 : Modèle de description de la structure d'une fibre végétale[2]

I.4. Morphologie des fibres végétales :

La morphologie des fibres végétales est fonction de plusieurs facteurs qui influent sur ses dimensions Elle varie en fonction de la provenance de la biomasse, des conditions de croissance de la plante, ainsi que de son état de maturité. Le caractère variable du diamètre et de la longueur de la paroi des fibres végétales constitue une donnée importante pour bien appréhender les transferts de contraintes aux interfaces fibre-matrice [4]. Le tableau présente les caractéristiques morphologiques de quelques fibres végétales. Tableau I.1.

Tableau I.1. Propriétés morphologiques de quelques fibres végétales [4].

Fibres	Longueur (mm)	Diamètre (µm)
Coton	25	12 – 25
Lin	4 – 8.5	12 – 30
Jute	2.5	5 – 25
Sisal	100 -125	100 -400
Chanvre	5 – 40	16 – 50
Kènaf	2.5- 4.5	14 – 33

I.5. Composition chimique des fibres végétales :

Les fibres naturelles végétales sont réparties entre les fibres libériennes, les fibres de feuilles, de graines....Leurs composition principale est la cellulose, la lignine et l'hémicellulose [5].

D'un point de vue morphologique, la fibre végétale varie considérablement selon son origine. Effectivement, la taille des fibres végétales varie en fonction de leur état de maturité ainsi que des conditions environnementales de croissance de la plante. Le diamètre peut varier considérablement le long de la même fibre végétale.

La fibre végétale se caractérise aussi par la variabilité de l'épaisseur de sa paroi cellulaire qui découle de celle de la porosité des fibrilles [6]. Le tableau suivant présente la composition chimique des fibres végétales :

Tableau I.2 : La composition chimique des fibres végétales [7].

Fibres	Cellulose (%)	Lignine (%)	Hémicellulose (%)	Pectine (%)	Cendre (%)
Kénafe	37 – 49	15 – 21	18 – 24	–	2 – 4
Juste	41 – 48	21 – 24	18 – 22	–	0,8
Chanvre	57 – 77	3,7 – 13	14 – 22,4	0,9	0,8
Ramie	68,6 – 91	0,6 – 0,7	5 – 16,7	1,9	–
Abaca	56 – 63	7 – 9	15 – 17	6	3
Sisal	47 – 78	7 – 11	70 – 24	10	0,6 – 1
Lin	71	2,2	18,6 – 20,6	2,3	–
Coton	94	–	–	1,2	1,2
Noix de coco	36 – 46	31 – 45	10	3 – 4	–
Genêt	44,5	18,5	16,3	13,3	4

I.5.1. La cellulose

La cellulose est un biopolymère linéaire de très haut degré de polymérisation supérieur à 1500, composé de millions de glucose $C_6H_{12}O_6$. Elle est constituée d'unités anhydroglucopyranose reliées par des liaisons $\beta(1-4)$ glucosidiques. L'unité répétitive de la cellulose est le cellobiose (Figure I.04) [8, 9].

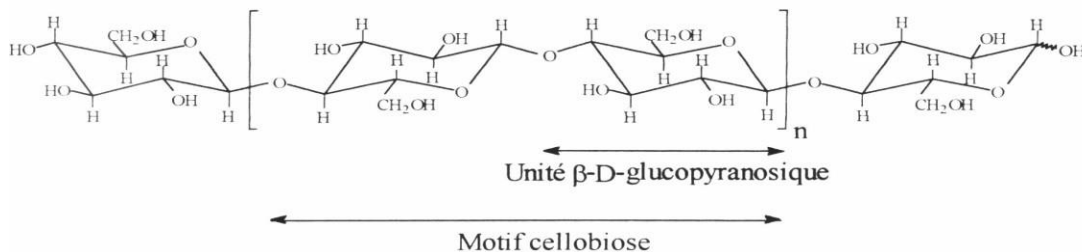


Figure I.04 : Structure moléculaire de la cellulose [10].

Malgré la connaissance de la structure chimique de la cellulose, sa structure tertiaire, comprenant sa structure cristalline et fibreuse, n'est pas encore entièrement élucidée. La fibre est formée par l'assemblage de macromolécules de la cellulose en microfibrilles. La structure de la chaîne de cellulose n'est pas plane et elle permet des liaisons entre les maillons successifs, ainsi que des liaisons inter-chaînes tout au long du biopolymère. Elle est présente entre 40 et 42 % chez les résineux et entre 35 et 40 % chez les feuillus [8].

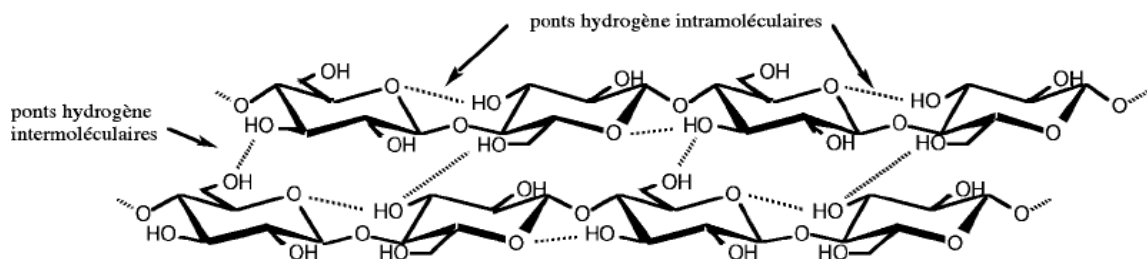


Figure I.05 : Ponts hydrogènes intramoléculaire et intermoléculaire entre deux macromolécules adjacentes de cellulose [11].

I.5.2. L'hémicellulose

Les hémicelluloses sont des copolymères de pentoses hexoses, acides uroniques et désoxyes. Elles diffèrent de la cellulose par des chaînes moléculaires beaucoup plus courtes et des ramifications sur la chaîne principale composée d'un au plusieurs types d'unité [10].

Les hémicelluloses sont très diverses, telles que les xylanes et les glucomannanes, mais la classe la plus étudiée est celle des xyloglucanes.

Ils sont constitués d'une chaîne de glucose $\beta(1-4)$ et de courtes chaînes latérales de xylose, galactose et fructose, les hémicelluloses représentent 20 à 25% chez les résineux et 30 à 35% chez les feuillus [8].

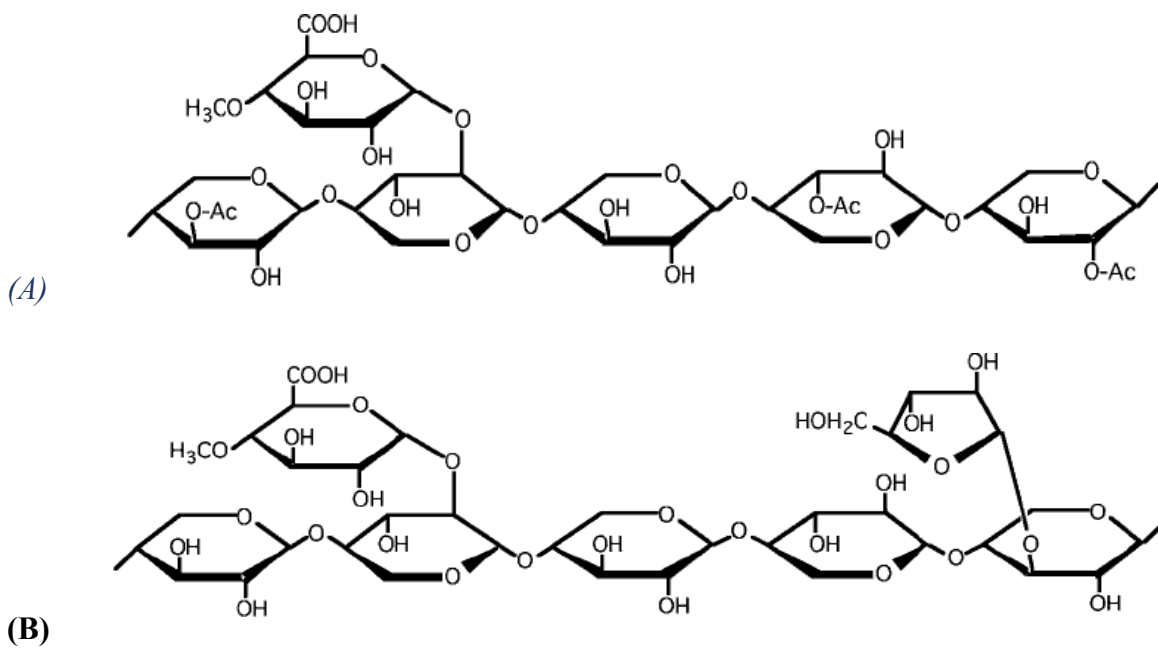


Figure I.06 : Structure chimique partielle de deux hémicelluloses : (A) O-acétyle-4-O-méthylglucuronoxylane de feuillus et (B) Arabino-4-O-méthylglucuronoxylane de résineux [11].

I.5.3. La lignine :

La lignine est un polymère tridimensionnel, aromatique, structuré à partir de 3 unités parahydroxyphényle, guaiacyle et syringyle (Figure I.07). Il s'agit de la composante non saccharidique la plus riche et la plus significative après la cellulose. Elle accroît les propriétés de résistance mécanique du bois. La lignine a originellement dans le bois une couleur blanche. Une fois extraite, sa couleur devient jaune pâle allant jusqu'au brun foncé. Elle constitue entre 26 à 32% de la masse sèche des bois résineux et entre 20 à 25% de la masse sèche des bois feuillus [8].

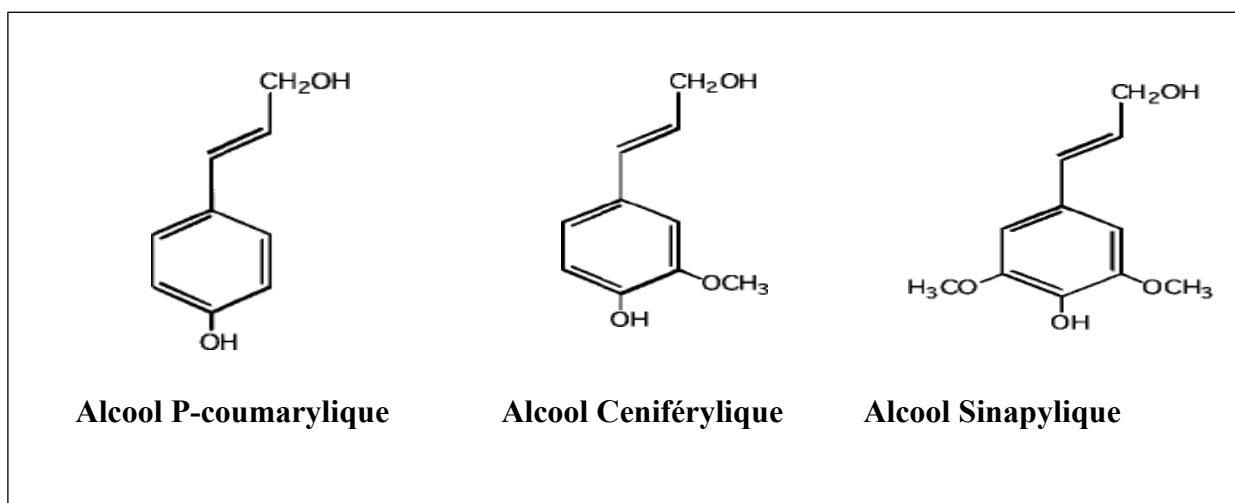


Figure I.07 :Précurseurs de la biosynthèse de la lignine [11].

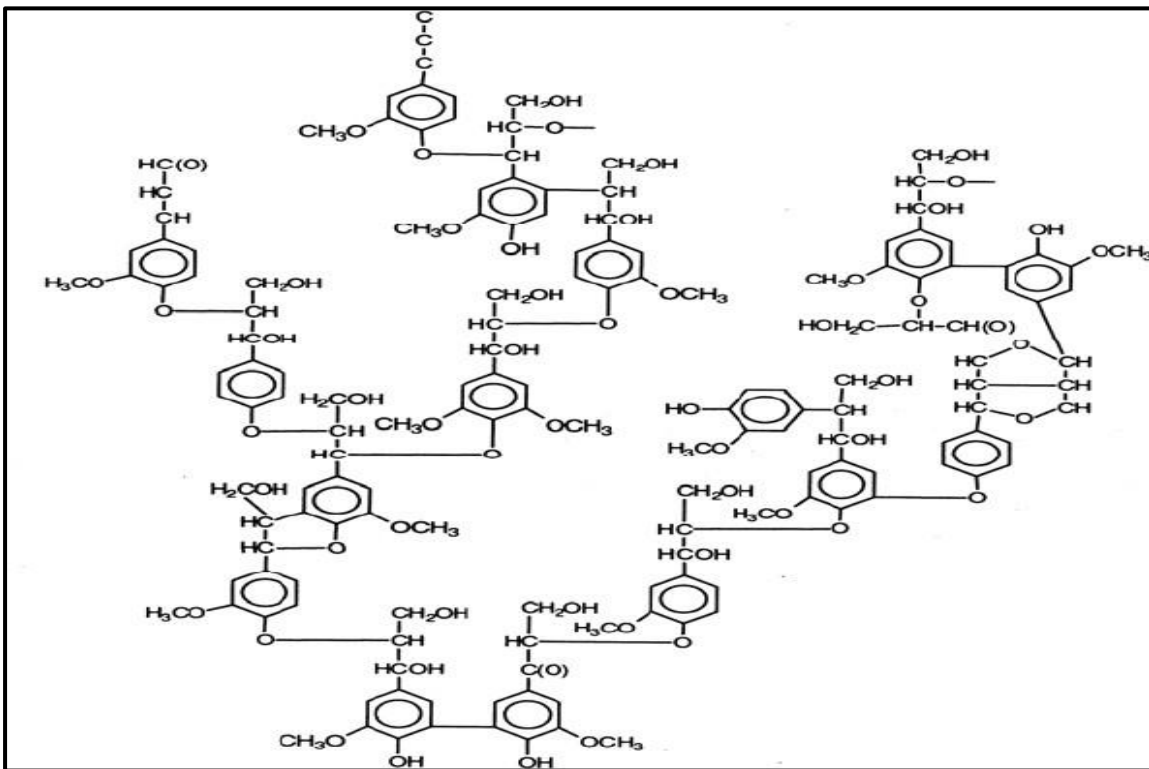


Figure I.08 : Exemple générique de la macromoléculaire lignine [12].

I.6. Propriétés des fibres végétales :

I.6.1. Propriétés physiques des fibres végétales :

Les propriétés physiques des fibres sont d'une importance cruciale dans la détermination du potentiel des fibres dans différentes applications industrielles. Comme décrit précédemment, les propriétés physiques des fibres telles que la résistance, les dimensions, la structure, la cristallinité et la variabilité des fibres sont les paramètres essentiels à prendre en considération lors de l'utilisation des fibres dans une application donnée pour la production d'un matériau de haute performance [13]. En effet, les dimensions des fibres telles que : la longueur, la largeur, le facteur de forme (longueur/largeur), l'épaisseur et la densité, sont importantes pour comparer les différents types de fibres naturelles. Les caractéristiques mécaniques, physiques et chimiques d'un matériau fibreux sont fortement influencées par le degré d'ouverture du matériau. Le degré d'ouverture dépend de facteurs tels que le nombre de fibres par unité de poids, la longueur, l'épaisseur et la ramification des fibres. Les fibres naturelles sont hydrophiles, tandis que la plupart des polymères sont hydrophobes, ce qui entraîne des problèmes de dispersion des fibres dans la matrice, ce qui altère les caractéristiques du composite obtenu. La présence de fibres naturelles renforcées est un inconvénient majeur des composites [14].

I.6.1.1. Densité :

La densité diffère peu d'une espèce à l'autre de fibres végétales et est corrélée à la porosité de la fibre. Elle s'élève à environ 1,5 g/cm³ [15].

I.6.1.2. Dimensions :

La longueur d'une fibre végétale varie de 1 à 250 mm. Le diamètre peut atteindre des dizaines de microns, ce qui est essentiel lorsqu'il s'agit de produire un composite unidirectionnel, car le renfort doit être aussi continu que possible et la surface de contact entre la matrice et les fibres doit être suffisante pour garantir le transfert de charge [15].

I.6.1.3. Angle micro-fibrillaire :

C'est un élément de distinction très important parmi les caractéristiques physiques d'une fibre. Les caractéristiques mécaniques favorables de la fibre peuvent être en partie attribuées à l'organisation micro-fibrillaire [16]. (Figure I. 09)

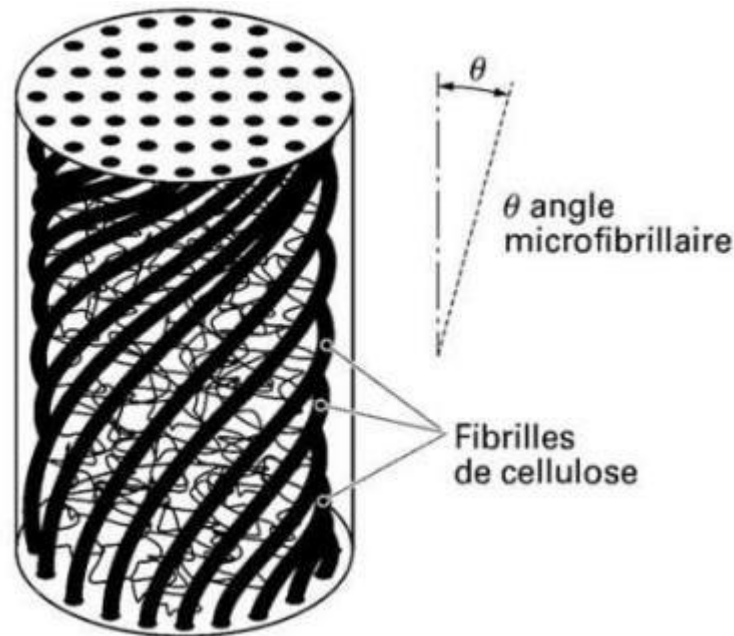


Figure I.09 : Présentation de l'angle micro-fibrillaire.

I.6.2. Propriétés mécaniques des fibres végétales :

Les fibres naturelles végétales peuvent concurrencer les fibres synthétiques en termes de propriétés mécaniques. Les fibres végétales présentent des propriétés mécaniques très variables en fonction de la morphologie des fibres, de leur composition chimique, de leur cristallinité, du degré de polymérisation de la cellulose ainsi que la méthode d'extraction des fibres. Les propriétés mécaniques des matériaux sont influencées par la taille des fibres et principalement par le facteur de forme. De manière générale, l'augmentation de la résistance à la traction et du module de Young des fibres végétales est liée à la teneur en cellulose, tandis que l'orientation des microfibrilles de cellulose par rapport à l'axe de la fibre influence la rigidité des fibres [17].

Les microfibrilles des fibres végétales sont plus ductiles lorsque leur orientation est spirale par rapport à l'axe de la fibre. Si les microfibrilles sont placées parallèlement à l'axe des fibres, les fibres

sont moins flexibles et plus rigides, ce qui entraîne une résistance à la traction plus élevée. En raison de leur faible densité et de leur bonne résistance, les fibres végétales sont particulièrement appréciées comme renforts dans diverses applications [18].

Les fibres végétales peuvent également développer des défauts structuraux suite aux différents stress que peut subir la plante au cours des différentes étapes de sa vie, à titre d'exemple les teillages et les entortillements (plis) qui peuvent se former lors du processus de transformation, ce qui affecte considérablement la rigidité et la résistance du produit final. En Outre, les fibres naturelles végétales sont hydrophiles par nature et contiennent une teneur substantielle d'humidité qui affecte les propriétés mécaniques. La teneur en humidité des fibres pourrait être liée aux volumes de pores dans les fibres, l'humidité relative, la composition chimique et la cristallinité des fibres. De façon générale, une teneur en cellulose, une humidité relative et un volume de pore élevés en plus d'une faible cristallinité des fibres ont tendance à causer des teneurs en humidité élevées [19]. Le Tableau I.3 présente les propriétés physiques et mécaniques des fibres naturelles généralement utilisées pour renforcer les composites à matrice polymérique.

Tableau.I.3 : Propriétés mécaniques des fibres naturelles en comparaison avec des fibres de renforcement conventionnelles [2].

Fibres	Longueur de la fibre (mm)	Diamètre de la fibre (μm)	Angle micro fibrillaire ($^{\circ}$)	Référence
Coton	35	10-45	-	SAT 09
Lin	4-77	5-76	1 0	CHA 06
Chanvre	5-55	10-51	6 . 2	NEN 09
Kénaif	2.5-4.5	14-33	-	MIC 03
Jute	2.5	5-25	8	MIC 03
Sisal	900	8-50	2 0	SAT 09
Rami	900-1200	20-80	7 . 5	SAT 09
Noix de coco	03-1	12-24	4 5	CHA 06

I.6.3. Propriétés thermiques des fibres végétales :

Grâce à leur composition chimique, chaque composant (cellulose, hémicelluloses et lignine) a une réaction différente lors de la dégradation thermique. À environ 240 °C, la fibre végétale commence à se décomposer. La transformation thermique des fibres naturelles se déroule en trois étapes distinctes. (Figure I.10) :

- ✓ La dégradation à température basse (100-180 °C), liée à la dégradation de l'hémicellulose ; La dégradation à température élevée (280-400 °C), causée par la dégradation de la cellulose.
- ✓ La lignine se dégrade avec une cinétique plus lente que les autres constituants

La stabilité thermique limitée des fibres végétales est l'un des inconvénients majeurs, principalement dans le cas de leur utilisation dans les composites. De nombreuses études ont montré que la modification chimique des fibres cellulosiques peut modifier leur stabilité thermique

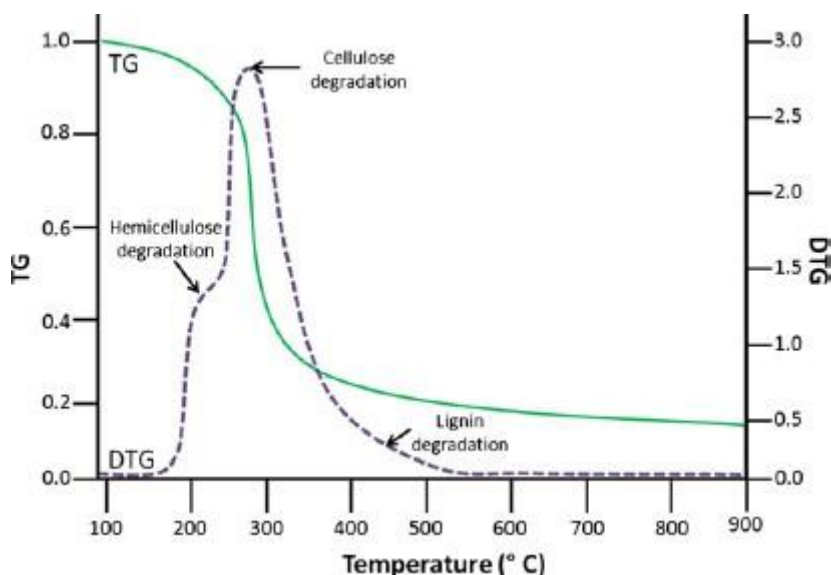


Figure I.10 : Processus de dégradation thermique d'une fibre végétale (Thermogrammes ATG/DTG) [2].

I.7. Traitements chimiques :

I.7.1. Traitements chimiques :

Les fibres végétales doivent être traitées pour améliorer leur adhérence et leur dispersion dans les matrices polymères. Les thérapies disponibles sont habituellement classées en deux types : les thérapies chimiques et les thérapies physiques. Dans cette section, nous nous intéressons principalement aux traitements chimiques, qui permettent de nettoyer la surface des fibres, de modifier leur composition chimique, de diminuer leur rétention d'humidité, d'accroître leur rugosité, de modifier leurs caractéristiques mécaniques et d'améliorer leur stabilité thermique [21, 22]. Différentes techniques chimiques existent, telles que le traitement au silane, le traitement au permanganate de potassium, le traitement à l'anhydride acétique et le traitement alcalin [23].

I.7.1.1. Traitement alcalin :

L'une des méthodes chimiques les plus fréquemment employées pour traiter les fibres naturelles est le traitement alcalin, dont la modification la plus importante est la rupture des liaisons hydrogène présentes dans la structure en réseau de ces fibres. Leur surface devient plus rugueuse en raison de cette rupture [24, 25].

On procède au traitement alcalin des fibres végétales en y ajoutant de l'hydroxyde de sodium (NaOH). La lignine, la cire et l'huile qui recouvrent la surface externe des parois cellulaires des fibres sont éliminées par ce traitement. Par conséquent, la cellulose est dépolymérisée et les cristallites de taille plus réduite sont exposés, comme le montre la figure 11 [23, 24].

En outre, pendant le processus de traitement alcalin, certaines substances cimentaires comme les composés hémicellulosiques et la lignine sont éliminées, ce qui affecte la composition chimique des fibres végétales, l'orientation moléculaire des cristallites de cellulose et le niveau de polymérisation [25]. Comme illustré dans la première équation :

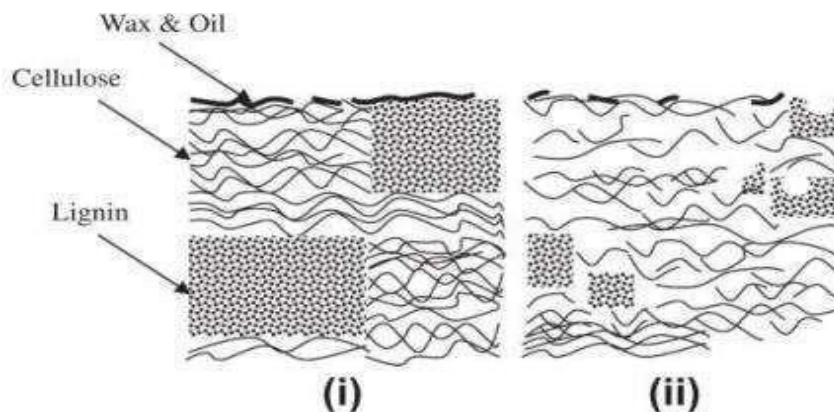
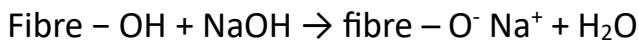
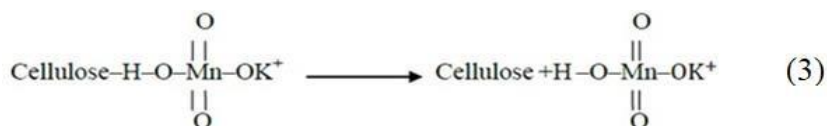


Figure I.11 : Structure typique de la fibre (i) non traitée et (ii) traité [24].

I.7.1.2. Traitement par permanganate de potassium :

Le procédé de traitement par permanganate (ions MnO_4^-) fonctionne en créant des sites radicalaires dans la cellulose des fibres végétales. L'objectif de cette approche est d'accroître la réactivité de la cellulose, ce qui facilite son interaction avec les matrices polymères [26, 27]. Voir l'équation 2 et 3 :

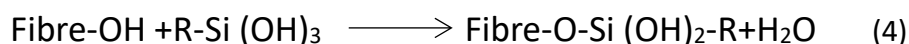


Ce traitement est généralement réalisé avec du permanganate de potassium (KMnO₄) en solution (dans l'acétone) à des concentrations variées, avec un trempage de 1 à 3 minutes, après un prétraitement alcalin. De cette manière, la fibre végétale perd son caractère hydrophile, ce qui entraîne une réduction de l'absorption d'eau par le composite renforcé avec ces fibres. La tendance des fibres à être hydrophiles diminue lorsque la concentration de KMnO₄ augmente. Toutefois, lorsque les concentrations dépassent 1 %, la fibre naturelle se dégrade [27].

I.7.1.3. Traitement par silane :

Le silane est une substance chimique dont la formule est SiH₄. Les agents de couplage tels que les silanes sont employés afin de garantir la stabilité du composite en favorisant l'adhérence entre les fibres et le polymère. En outre, ils favorisent la diminution du nombre de groupes hydroxyles présents dans la cellulose à l'interface entre la fibre et la matrice [24].

Les groupes alcoxy hydrolysables du silane se métamorphosent en silanols lorsque de l'humidité est présente, qui réagissent avec les groupes hydroxyles des fibres et forment des liaisons covalentes stables avec la paroi cellulaire [23]. Ainsi, l'application du silane introduit des chaînes hydrocarbonées (R) qui restreignent le gonflement des fibres en se diffusant dans la matrice et forment un réseau enchevêtré [25, 28]. Voir équation 4 :



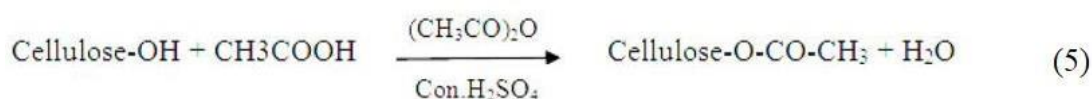
De plus, La présence de silane dans le traitement améliore la résistance à la traction du composite, diminue l'effet de l'humidité sur ses caractéristiques et renforce l'adhérence entre les fibres et la matrice, ce qui entraîne une augmentation de la résistance globale du composite [24, 28].

I.7.1.4. Traitement par acétylation :

Le procédé d'acétylation consiste à altérer la surface des fibres végétales pour diminuer leur affinité pour l'eau. Ce traitement repose sur la réaction entre les groupes hydroxyles (-OH) de la fibre et des groupes acétyles (CH₃CO-). Les propriétés de la fibre sont modifiées par cette substitution, ce qui lui donne une surface hydrophobe. Les groupes hydroxyles qui participent à la réaction sont issus à la fois des éléments minoritaires de la fibre (hémicelluloses, lignine) et de la cellulose amorphe [21].

Les liaisons solides entre les molécules des groupes hydroxyles des régions cristallines de la fibre rendent les groupes hydroxyles inaccessibles aux réactifs chimiques. Les différentes réactions d'acétylation, avec ou sans catalyseur acide, sont présentées ci-dessous. Étant donné que la cellulose ne réagit pas facilement avec l'acide acétique, il est préférable de le remplacer par de l'anhydride acétique [21, 29].

Afin d'accélérer la réaction, il est possible d'immerger les fibres dans de l'acide acétique avant de les traiter avec de l'anhydride acétique pendant 1 à 3 heures [21]. Voir l'équation 5 et 6 :



I.7.1.5. Traitement plasma :

Le plasma à faible énergie est un traitement de surface utilisé pour traiter les fibres. On peut utiliser le plasma sous atmosphère d'oxygène, appelé plasma oxygène. La composition de la surface des fibres naturelles est modifiée par l'enrichissement de ces dernières en fonctions $-C=O$, $-COOH$ et $-CO_2$. On l'emploie pour nettoyer et activer le plasma des surfaces en très peu de temps. De cette façon, la surface devient plus ouverte aux molécules modifiantes. Au fil du temps, cette méthode provoque des fissures à la surface des fibres. [30]

I.7.1.6. Traitement par acide stéarique :

Une autre méthode de traitement des fibres végétales est le traitement par acide stéarique. La formule $CH_3(CH_2)_{16}COOH$ de l'acide stéarique est employée afin de modifier la surface des fibres. L'acide stéarique présente un groupement carboxyle $-COOH$ qui interagit avec les groupements hydroxyles hydrophiles de la fibre, ce qui diminue sa résistance à l'humidité. Ce procédé peut donner aux fibres une très grande résistance à l'eau. Il retire cependant certains éléments de la structure de la fibre (pectine, cire, etc.). Ainsi, les fibres se décomposent et des phénomènes de défibrillation se manifestent. Dans le cas des applications composites, ce procédé encourage une meilleure connexion entre les fibres et la matrice, ce qui entraîne des propriétés améliorées des composites. [31]

Les Références :

- [1] F. Michaud, "Rhéologie de panneaux composites bois/thermoplastiques sous chargement thermomécanique : Aptitude post formage" thèse Phd, univ Laval, 2003.
- [2] A.K. Bledzki, J. Gassan, "Composites reinforced with cellulose based fibres", *Prog. Polym. Sci.* 24 221–274, 1999
- [3] F.Laurans, A.Déjardin, J.Pilate, "Physiologie de la formation des parois de fibres de bois", *composites et matériaux avancés*, Vol.16, pp.27-39,2006.
- [4] K. Nassima, « caractérisation de la morphologie et des propriétés physico-mécaniques de matériaux composites EVA/farine de grignons d'olive/EBAGMA avant et après recyclage ». Mémoire magister, Bejaïa, 2010.
- [5] MALHA, M. mise en oeuvre, caractérisation et modélisation de matériaux composites : polymère thermoplastique renforcé par des fibres de DOUM. Thèse de doctorat de l'université MOHAMMED V- AGDAL Rabat, 2013.
- [6] YAHIAOUI, L. caractérisation d'un composite à la rupture à base des fibres végétales (Diss). Thèse de magister. Sétif. Université FERHAT ABBAS- SETIF, 2011.
- [7] FADEL, A. Influence des diverses modifications du genêt d'Espagne sur les propriétés mécaniques, rhéologiques et thermiques des composites à matrice thermoplastique. Mémoire de Magister. Sétif. Université Sétif-1-, 2014.
- [8] TALAL, B. Utilisation d'une méthode optique sans contact pour décrire le comportement mécanique de composites Bois/Plastiques "WPC ". Thèse de doctorat de l'université de Pau et des pays de l'Adour, 2011.
- [9] RAGOUBI, M. 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.
- [10] TINGAUT, PH. Modification de la structure chimique du Bois par des Alcoxysilanes diversement substitués. Thèse de doctorat. Université BORDEAUX 1, 2006.
- [11] JEBRANE, M. Fonctionnalisation chimique du Bois par transesterification des ester d'enol. Thèse de doctorat. BORDEAUX 1 : Ecole Doctorale des Sciences Chimique, 2009.
- [12] SBIAI, A. Matériaux composites a matrice Epoxyde chargée par des fibres de palmierdattier effet de l'oxydation au tempo sur les fibres. Thèse de doctorat. Paris. L'institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2011.
- [13] T. H. Mokhothu and M. J. John, "Review on hygroscopic aging of cellulose fibres and their biocomposites," *Carbohydrate Polymers*, vol. 131, pp. 337–354, 2015
- [14] C. Baley, Y. Grohens, G. Levesque, F. Busnel, C. Pomel, and O. Sire, "Influence des traitements chimiques sur les propriétés interfaciales et l'adhérence du système fibre de lin- résine polyester," *Matériaux*, pp. 1–4, 2002.
- [15] M. S., Gouanvé F., Bonnesoeur A., Grenet J., Poncin-Epaillard F., Morvan C., Métayer M., "Unsaturated polyester composites reinforced with flax fibers: effect of cold plasma and autoclave

- treatments on mechanical and permeation properties”, *Composites* : 36, 975-986, 2005.
- [16] S. S, Pupo. J.F, Schreiber. H, Thermal degradation of cellulose containing composites during processing, *Journal of Applied Polymer Science*, 37, p. 233-240, 1989.
- [17] K. C, Kubat. J, Strömvall. H.E, The efficiency of cellulosic fillers in common thermoplastics. Part 1 Filling without processings aids or coupling agents. *Inter. J. Polymeric Mater*, 10, p. 159-187, 1984.
- [18] B. C., *Fibres naturelles de renfort pour matériaux composites. Technique de l'ingénieur, traité génie des procédés*, Vol. AM5, pp. 130. 2004.
- [19] N. Le Moigne, B. Otazaghine, S. Corn, H. Angellier-Coussy, A. Bergeret, *Surfaces and Interfaces in Natural Fibre Reinforced Composites : Fundamentals, Modifications and Characterization*, Springer, 2018.
- [20] B. E., Baley C., Study of the tensile properties of stinging nettle fibers (*Urtica dioica*). *Mater. Letters*. 62: 2143–2145, 2008.
- [21] K. Borchani, *Développement d'un composite à base d'un polymère biodégradable et de fibres extraites de la plante d'Alfa*, Lyon, 2016.
- [22] M. Paiva, I. Ammar, A. Campos, R.B. Cheikh, A. Cunha, Alfa fibres: Mechanical, morphological and interfacial characterization, *Composites Science and Technology*, 67 (2007)1132-1138.
- [23] V.V. Do Thi, *Matériaux composites à fibres naturelles/polymère biodégradables ou non*, Grenoble, 2011.
- [24] L.Y. Mwaikambo, M.P. Ansell, Chemical modification of hemp, sisal, jute, and kapok fibers by alkalization, *Journal of applied polymer science*, 84 (2002) 2222-2234.
- [25] M. Kabir, H. Wang, K. Lau, F. Cardona, Chemical treatments on plant-based natural fibre reinforced polymer composites: An overview, *Composites Part B: Engineering*, 43 (2012) 2883-2892.
- [26] B. Meghlaoui, *Elaboration et caractérisation d'un composite biodégradable a matrice polymère et renfort naturel*, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 2020.
- [27] N. Chand, M. Fahim, *Tribology of natural fiber polymer composites*, Woodhead publishing 2020.
- [28] R. Kozłowski, M. Władyska, *Uses of natural fiber reinforced plastics, Natural fibers, plastics and composites*, Springer 2004, pp. 249-274.
- [29] P.K. Kushwaha, R. Kumar, Effect of silanes on mechanical properties of bamboo fiber- epoxy composites, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29 (2010) 718-724.
- [30] K. Sever, S. Erden, H. A. Gülec, Y. Seki, and M. Sarikanat, “Oxygen plasma treatments of jute fibers in improving the mechanical properties of jute/HDPE composites,” *Materials Chemistry and Physics*, vol. 129, no. 1–2, pp. 275–280, Sep. 2011.
- [31] G. Kalaprasad et al., “Effect of fibre length and chemical modifications on the tensile properties of intimately mixed short sisal/glass hybrid fibre reinforced low density polyethylene composites,” *Polymer International*, vol. 53, no. 11, pp. 1624– 1638, 2004.

Chapitre II :
Généralités sur les matériaux composites

II. Historique :

Les matériaux composites sont vieux comme le monde. Il y a plusieurs millénaires, les artisans de l'Égypte ancienne augmentaient déjà les propriétés mécaniques des briques par une adjonction de paille courte à l'argile fraîche. Certains matériaux naturels comme le bois (fibre de cellulose dans une matrice de lignine) et l'os (mélange complexe de collagène et de phosphate de calcium) sont des matériaux composites [1].

D'ailleurs, en 1823, Charles Macintosh créa l'imperméable avec du caoutchouc sur des tissus comme le coton, François Hennebique dépose le brevet du béton armé, en 1892. En effet, les composites bois-plastique (wpcs) ont apparus en Italie en 1970, puis popularisés en Amérique du Nord au début des années 1990. Les matériaux composites à base des fibres végétales sont largement utilisés dans divers domaines d'application, Aéronautique, automobile, construction et ameublement [2].

L'étude et la conception des matériaux composites suscitent depuis près d'un siècle un grand intérêt dans les domaines multiples et variés de la chimie moderne. Structures hétérogènes isotropes, ou anisotropes, ils présentent des performances souvent bien supérieures à celles des matériaux homogènes (propriétés chimiques, mécaniques, optiques, thermiques ou diélectriques) qui leur offrent des perspectives d'utilisation fort prometteuses [3].

II.1 Définition :

Les matériaux composites sont des matériaux solides hétérogènes et anisotropes qui sont obtenus par l'association d'au moins deux matériaux non miscibles et de natures différentes. Ces matériaux se complètent et donnent naissance à un matériau qui possède toutes les propriétés qu'aucun des composites pris individuellement ne possède. Ils se composent d'une à plusieurs phases discontinues qui se regroupent dans une phase continue. On appelle renfort la phase continue, également connue sous le nom de matrice, et la phase discontinue, qui présente généralement des caractéristiques mécaniques (rigidités et résistances) supérieures à celles de la matrice [4].

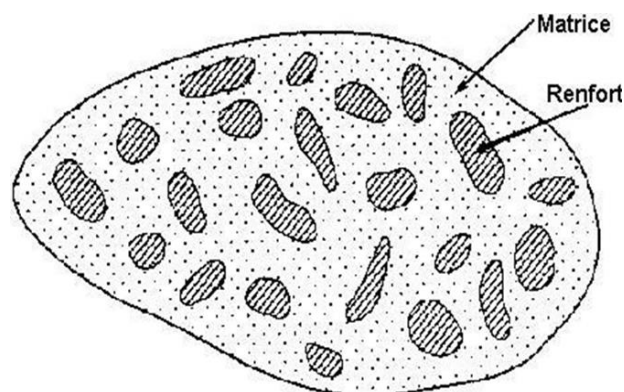


Figure II.01 : Schéma d'un matériau composite.

II.2 Constituants des matériaux composites :

II.2.1 La matrice :

La matrice est constituée de résine mélangée, pour améliorer ses caractéristiques, à une charge qui facilite aussi la mise en œuvre et diminue le coût de la production. Le mélange est considéré mécaniquement comme une phase homogène, et nous obtenons ainsi un matériau composite formé d'un renfort et d'une matrice.

La fonction de la matrice consiste à établir un lien entre les fibres et à transmettre les demandes. Dans le sens transverse du renfort, elle garantit la résistance du matériau, tout en assurant une protection physico-chimique des fibres contre les agents toxiques de l'environnement. En outre, elle a un impact direct sur la résistance thermique et la résistance à la compression et au cisaillement entre les lamines.

Il est nécessaire que les résines utilisées soient suffisamment déformables et qu'elles soient compatibles avec les fibres. Il est également nécessaire qu'elles aient une faible masse volumique afin de préserver les caractéristiques mécaniques spécifiques élevées du matériau composite [5].

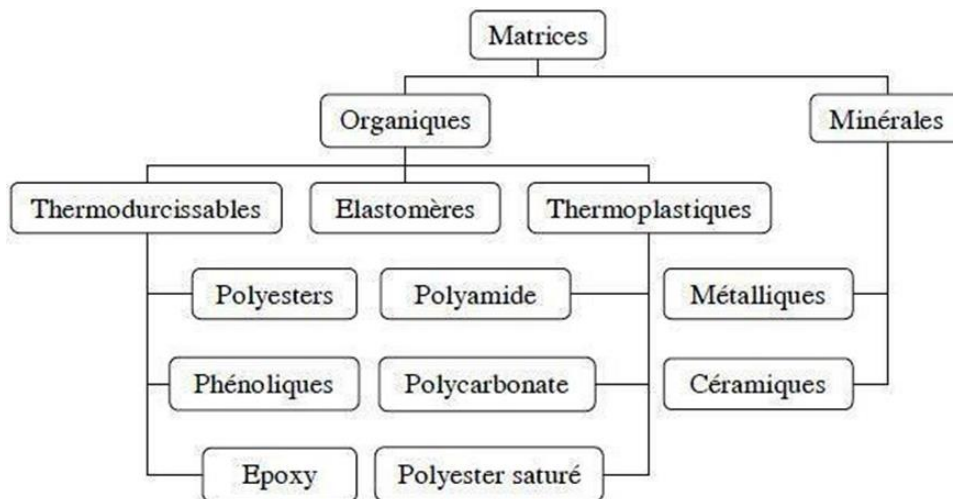


Figure II.02 : Les familles de matrices

II.2.1.1 Les différents types de matrices :

II.2.1.1.1 Les matrices organiques :

La matrice organique est la partie polymère du système qui se divise en deux familles principales thermoplastiques et thermodurcissables.

Il est important de bien situer les différences fondamentales de ces deux types de matrices :

- La structure des TP sont constitués de chaînes linéaires, qui doivent être chauffées pour être formées (les chaînes se plient alors) et refroidies pour être fixées (les chaînes se bloquent). Ce processus est réversible.

- La structure des TD se présentent sous la forme d'un réseau tridimensionnel qui se combine (double liaison de polymérisation) afin de se solidifier de manière définitive dès qu'ils sont chauffés. Il y a donc une transformation irréversible [5].

II.2.1.1.1.1 Les résines thermodurcissables :

Il est rare d'utiliser des résines TD sans renforts, car leurs caractéristiques intrinsèques ne le permettent pas. Il n'est possible de les former qu'une seule fois.

Une fois polymérisées par rapport à la chaleur en présence d'un catalyseur, elles entraînent la formation d'une structure géométrique qui ne peut être détruite que par un apport considérable d'énergie thermique.

Il existe plusieurs familles de résines TD, on peut citer :

-Polyesters insaturés : c'est la résine la plus utilisée dans l'application composite de grande distribution.

Une résine de polyester insaturé contenant un monomère (généralement le styrène) est réticulée à température ambiante par addition d'un catalyseur de type peroxyde organique et d'un accélérateur.

Elle passe successivement de l'état liquide visqueux initial à l'état de gel, puis à l'état de solide infusible. La réaction est exothermique et la température de la résine augmente progressivement depuis le gel jusqu'à un maximum pour redescendre ensuite lentement à la température ambiante.

La réaction de durcissement dépend de la réactivité de la résine, de la forme de l'objet fabriqué (épaisseur, etc.), de la nature et du dosage du système catalytique [5].

II.2.1.1.1.2 Les résines thermoplastiques :

Polymères linéaires ou ramifier, qui peuvent être ramollie par chauffage et durci par refroidissement plusieurs fois, elles sont fréquemment utilisées seules (sans renfort et sans charge), dans ce cas on peut plus les considérer comme matériaux composites, leurs propriétés intrinsèques sont suffisantes pour permettre la réalisation d'objet et de pièces à fonction diverses.

Les polymères employés sont principalement des thermoplastiques techniques qui possèdent des caractéristiques mécaniques satisfaisantes à l'état brut. L'utilisation de fibres courtes pour leur renforcement leur offre une meilleure résistance thermique et mécanique, ainsi qu'une stabilité dimensionnelle optimale.

Les principales matrices TP utilisées (possédant toutes une tenue en température supérieure à 100 °C) sont les suivantes :

- Polyamide (PA) : tenue au choc, bonne résistance à la fatigue et aux hydrocarbures ;
- Poly téréphtalate éthylénique et butylénique (PET, PBT) : bonne rigidité, bonne ténacité ;
- Polycarbonate (PC) : tenue au choc ;
- Polysulfure de phénylène (PPS) : résistance à l'hydrolyse ;
- Polyoxyméthylène (POM) : bonne tenue à la fatigue ;
- Polysulfures (PSU et PPS) : bonne stabilité chimique et à l'hydrolyse, peu de fluage, tenue au chaud ;
- Polypropylène (PP) : peu onéreux et assez stable en température, mais combustible. Il existe aussi deux autres types de résines dont leur emploi est limité qui sont :

➤ Résines thermostables (tenue en température > 200 °C et bonnes propriétés mécaniques), comme :

- Polyamide-imide (PAI) ;
- Polyéther-imide (PEI) ;
- Polyéther-sulfone (PES) ;
- Polyéther-éther-cétone (PEEK).

➤ Les caoutchoucs et les élastomères, qui sont caractérisés par leur forte élasticité et un module de Yong très faible [5].

II.2.1.1.2 Les matrices carbonées :

On les fabrique selon le même procédé que celui employé pour la fabrication des fibres de carbone : carbonisation d'une matrice organique à une température élevée.

Leur composition est composée de particules de carbone pyrolytique qui se déplacent à chaud sur les fibres, assurant ainsi une liaison mécanique entre elles et bouchant les espaces entre elles. La masse volumique de ce matériau composite est donc proche de celle du carbone massif [5].

II.2.1.1.3 Les matrices minérales :

II.2.1.1.3.1 Les matrices métalliques :

En raison de la faible température maximale d'utilisation des polymères et du risque d'oxydation du carbone à plus de 500 °c, il est parfois nécessaire d'envisager l'utilisation de matrices dont l'inertie chimique est améliorée à des températures plus élevées. Certains métaux et alliages métalliques peuvent répondre à cette exigence, ce qui justifie l'utilisation de matrices métalliques dans certaines conditions :

- Des propriétés mécaniques supérieures,
- Résistance plus élevée à l'attaque de certains solvants,
- Tenue en température élevée,
- Comportement pas parfaitement élastique,
- Augmentation du poids du composite [5].

II.2.1.1.3.2 Les matrices céramiques :

Les céramiques possèdent des propriétés intrinsèques telles que la résistance, la rigidité, la résistance et une stabilité chimique suffisante pour pouvoir jouer le rôle de matrice dans des matériaux composites. Dans cette situation, l'objectif des fibres de renfort est d'améliorer la résistance de ces matrices et leur résistance aux chocs thermiques [5].

II.2.2 Renforts :

Les renforts sont utilisés pour augmenter la résistance mécanique à la traction et la rigidité des matériaux composites, et ils se présentent sous forme de filaments (fibres organiques ou inorganiques) [6].

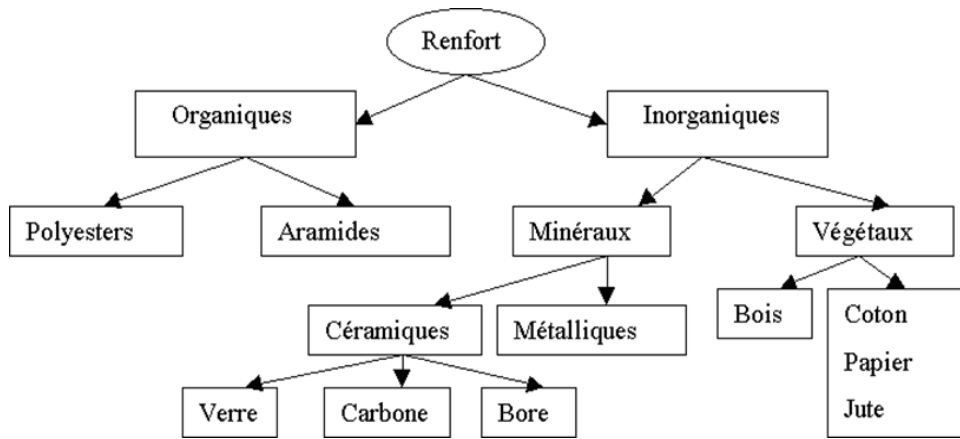


Figure II.03 : Les familles de renforts

II.2.2.1 Différents types de renforts :

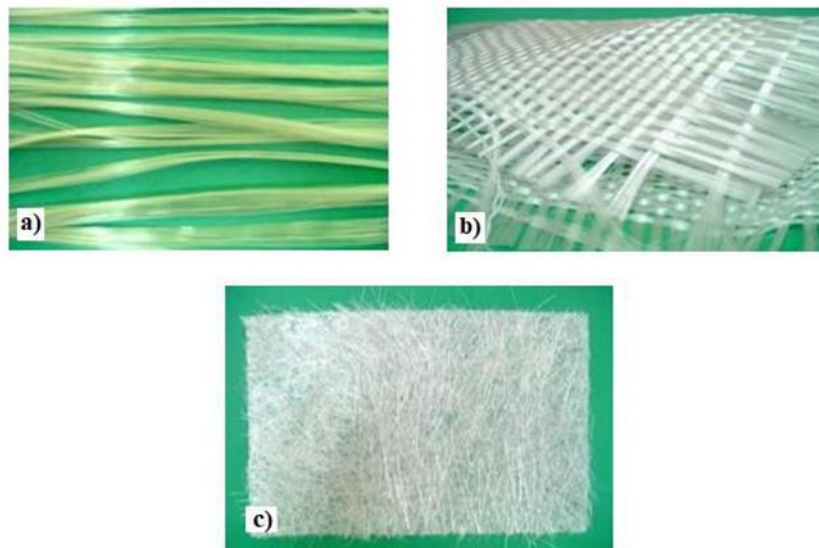
Les renforts les plus couramment employés sont des fibres ou des formes dérivées et forment une proportion volumique de matériau composite que l'on trouve généralement entre 0,3 et 0,7.

Différentes formes commerciales des renforts fibres sont disponibles.

- Sous forme de roving (fils, mèches, etc. ...): le roving est un assemblage de fils de bases parallèles groupés sans torsion.
- Sous forme de tissus (tissus taffetas, toiles, serge, etc. ...): le tissu est formé par l'entrecroisement perpendiculaire des roving.

Les tissus de roving peuvent peser jusqu'à 800 g/m².

- Sous forme de mat (à fil coupé, à fil continu): le mat est un matelas de fils coupés ou continu à ensimage plastique, agglomérés par un liant à solubilité rapide ou lente dans la résine [6].



A) Roving de verre ;

b) Tissu de verre ;

c) Mat de verre

Figure II.04: Les différentes formes des renforts fibres de verre

II.2.3 Les charges et les additifs :

Il est possible d'incorporer différents produits à la résine afin de lui donner des caractéristiques spécifiques ou de diminuer son coût. Il est possible que la quantité de produits ajoutés varie de :

- Quelques dizaines de % dans le cas de charges.
- A quelques % et moins dans le cas d'additifs.

Il est possible d'ajouter ces produits afin d'améliorer les caractéristiques mécaniques et physiques du produit fini, ou de faciliter sa mise en place. Dans ce paragraphe, nous présentons des exemples de charges et d'additifs.

II.2.3.1 Les charges :

L'objectif du renfort de charge est d'améliorer les performances mécaniques de la résine, ou de réduire le coût des résines tout en préservant leurs performances. Ces charges sont généralement constituées de microbilles ou de particules (poudre).

Les principales charges utilisées sont :

- Microbille en (verre, carbone, époxyde, phénolique, polystyrène, etc. ...)
- Des poudres ou paillettes métalliques : (cuivre, fer, aluminium, etc. ...)
- Des particules de carbone (noir de carbone).

II.2.3.2 Les additifs :

Ils sont nécessaires pour assurer une adhérence suffisante entre le renfort fibreux et la matrice et de modifier l'aspect ou les caractéristiques de la matière à laquelle ils sont ajoutés. Les additifs se trouvent en faible quantité (quelques % et moins) et interviennent comme :

- Lubrifiants et agents de démoulage.
- Pigments et colorants.
- Agents anti -retraits.
- Agents anti -ultraviolets.
- Accélérateur.
- Catalyseur.

Les additifs se trouvent en faible quantité (quelques % et moins) et interviennent comme :

- Lubrifiants et agents de démoulage.
- Pigments et colorants.
- Agents anti-retrait.
- Agents anti-ultraviolets.

II.3 Structure des matériaux composites :

Les structures des matériaux composites peuvent être classées en trois types :

- Les monocouches
- Les stratifiées
- Les sandwiches

II.3.1 Les monocouches :

Les monocouches constituent les composantes essentielles des structures composites. Une matrice polymère est enveloppée dans le plan médian par des fibres unidirectionnelles. Ce qui les distingue, c'est le type de renfort employé : des fibres longues (unidirectionnelles ou non), courtes, sous forme de tissus ou de rubans [7].

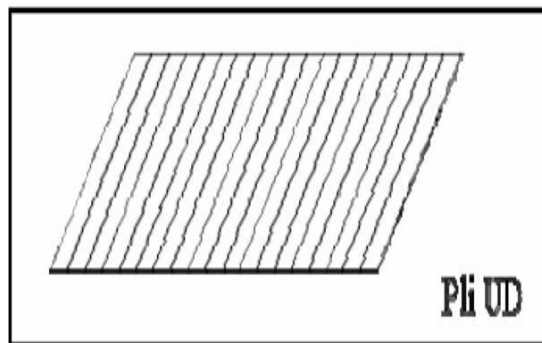


Figure II.05: Composite monocouche.

II.3.2 Les stratifiés :

Le stratifié est un matériau qui est constitué d'un ensemble ordonné de couches d'orientation et d'épaisseur spécifiques, composées de différents matériaux. On désigne généralement une couche d'un stratifié sous le nom de strate. En général, le type de stratifié est caractérisé par sa séquence d'empilement, une information qui permet de donner une idée synthétique de l'orientation des différentes couches d'un stratifié. Les composites stratifiés offrent l'avantage de pouvoir produire des matériaux avec des propriétés mécaniques orientées de manière optimale pour mieux répondre aux exigences de la structure [8].

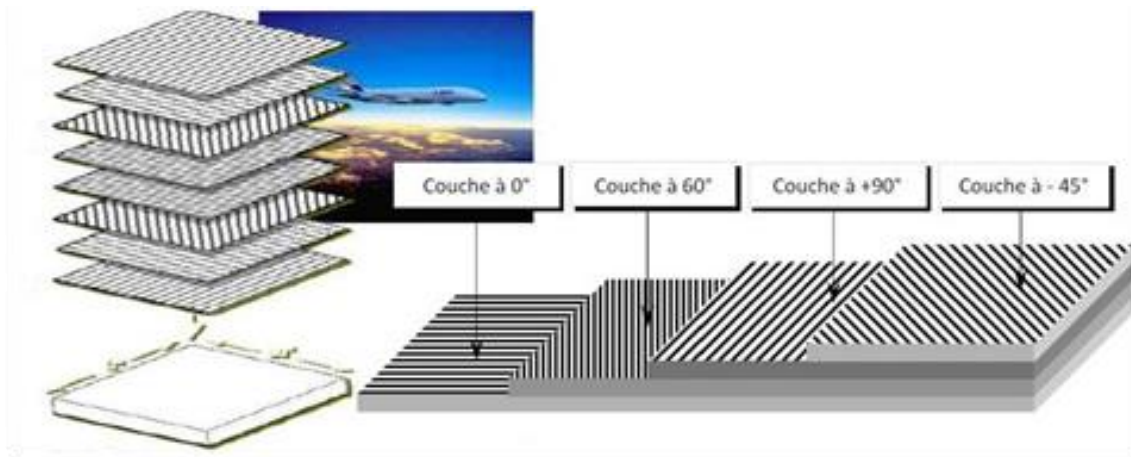


Figure II.06: Plaque stratifiée

II.3.3 Les sandwichs :

En général, les structures composites qui sont soumises à des sollicitations de flexion ou de torsion sont fabriquées à partir de matériaux sandwich. Une âme et deux peaux en matériaux composites forment une structure sandwich. Le collage est effectué en utilisant une résine qui convient aux matériaux présents. Les types les plus couramment employés sont les âmes de nid d'abeilles, ondulées ou en mousse. En général, les peaux se composent de structures stratifiées.

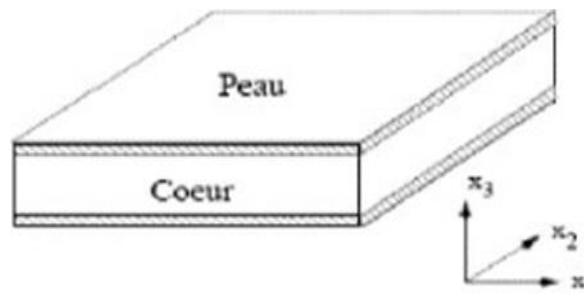


Figure II.07: Composite sandwich.

II.4 Classifications des matériaux composites :

Aujourd'hui, il y a une multitude de matériaux composites que l'on peut classer en général en trois familles en fonction de la nature de leur matrice [9].

II.4.1 Les composites à matrices polymères ou organiques (CMO) :

Comme les polymères organiques tels que la résine thermodurcissable ou thermoplastique [10], qui représentent de loin les volumes les plus importants actuellement dans le secteur industriel [9].

II.4.2 Les composites à matrices céramiques (CMC) :

Ils sont réservés aux applications de grande technicité et à des températures élevées, telles que dans les secteurs spatial, nucléaire et militaire, ainsi que pour le freinage.

II.4.3 Les composites à matrices métalliques (CMM) :

On peut également classer ces matériaux en fonction de la nature du renfort [10]. Les composites sont principalement utilisés dans les domaines du transport aérien, maritime, ferroviaire, du bâtiment, de l'aérospatial et des sports et des loisirs, en raison de leur efficacité mécanique comparable aux matériaux homogènes, de leur résistance supérieure à celle de l'acier et de leur légèreté par rapport à l'aluminium. Souvent, les composites sont appelés en fonction du type de renfort.

De cette manière, il y a des particules, des composites en sandwich, des composites à phases dispersées et même des composites fibreux [9].

II.5 Caractéristiques générales des matériaux composites :

Les propriétés des matériaux composites dépendent de beaucoup de facteurs et sont différentes selon les divers types de matériaux composites. Ces propriétés résultent :

- Des propriétés, de la nature et de la quantité des matériaux constitutifs.
- Des constituants, de la géométrie et de la distribution du renfort.
- De leurs interactions, de la nature de l'interface matrice-renfort, etc.
- Les principales caractéristiques des pièces fabriquées en matériaux composites sont :
- Faible masse,
- Bonne tenue en fatigue (durée de vie augmentée),
- Absence de corrosion,
- Absence de plasticité (leur limite élastique correspond à la limite de rupture),
- Vieillessement sous l'action de l'humidité et de la chaleur,
- Inertie à certains produits chimiques courants (solvants, peinture, huiles, Pétroles,...),
- Tenue aux impacts et aux chocs très moyenne,
- Très forte anisotropie [11].

II.6 Domaine d'applications des matériaux composites :

Les matériaux composites fibres résine présentent des performances mécaniques exceptionnelles, ce qui les rend intéressants pour l'utilisation dans les structures. De plus, l'avantage de ces matériaux réside dans leur capacité à être facilement contrôlés par le concepteur, ce qui lui permet d'ajuster la rigidité et la résistance en fonction des impacts extérieurs. L'avantage majeur des matériaux composites réside dans leur capacité à être optimisés pour chaque application : il est possible de positionner le renfort précisément où il est nécessaire. La meilleure performance de ces matériaux est le résultat de cette optimisation, qui les rend souvent de loin les plus légers pour une résistance mécanique spécifiée. Toutefois, ils demeurent extrêmement coûteux à produire! Cela explique leurs domaines d'application :

- Electricité et électronique,
- Bâtiment et travaux publics,
- Transports routiers, ferroviaires, maritimes, aériens et spatiaux (notamment militaire),
- Santé (instrumentation médicale),
- Sports et loisirs (skis, raquette de tennis, planche à voile, surf, club de golf,...)
- Construction navale...

Ainsi, on note que les matériaux composites sont surtout utilisés pour des applications où une haute performance est recherchée et où le prix n'est pas le facteur primordial [12].

II.7 Les avantages et les inconvénients des matériaux composites :

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

- Légèreté.
- Résistance à la corrosion et aussi à la fatigue.
- Insensibilité aux produits comme les graisses, les liquides hydrauliques, les peintures et les solvants.
- Possibilité de prendre plusieurs formes, d'intégrer des accessoires et permettre la réduction de bruit.

Cependant certains inconvénients freinent leur diffusion :

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

L'industrie des matériaux composites doit donc aujourd'hui relever certains défis tels que:

- La maîtrise des émanations de produits organiques volatiles, par exemple le styrène.
- La maîtrise des procédés de transformations et des performances des matériaux qui sous-entend une très bonne connaissance des constituants mis en place.
- La mise en place de technologies et des filières pour la gestion des déchets en fin de vie qui est la partie la plus difficile à satisfaire en raison du caractère thermostable de la plupart des composites.

De plus, dans ce dernier point, le recyclage est actuellement très limité parce que le broyage ou les autres procédés sont très coûteux et fournissent une matière de faible qualité.

Ces inconvénients et défis à relever, ont poussé les chercheurs à orienter leurs recherches vers les ressources renouvelables et biodégradables [13].

Les références :

- [1] DO THI Vi, Matériaux composites fibres naturelles/ polymère biodégradables ou non, Thèse de Doctorat, L'université De Grenoble, 2006.
- [2] HAMMICHE DALILA, Synthèse d'un Nouvel Agent de Couplage PVC-g-MA et son Utilisation dans les Composites PVC / Alfa, mémoire de magister, université de BEJAIA, (2010).
- [3] I. Naghmouchi, F.X. Espinach, P. Mutjé, S. Boufi, Polypropylene composites based on lignocellulosic fillers: How the filler morphology affects the composite properties, *Materials & Design*, 2015; 65: 454–461.
- [4] Oumsalem, Malika. Effet du taux et de la taille des fibres lignocellulosiques sur les propriétés diélectriques des composites (PVC/Diss). Mémoire de Master. UMMTO, 2016.
- [5] Daniel Gay, Matériaux Composites 4ème Edition, Hermès 2009.
- [6] Djebbloun Youcef, Etude de la rupture en MODE I d'ouverture des matériaux composites, Université de Biskra (2004).
- [7] L. Berreur, B. d. Maillard, and S. Nösperger, "L'industrie française des matériaux.
- [8] JoelCugnoni, « Identification par recalage modal et fréquentiel des propriétés constitutives de coques en matériaux composites », Thèse, Ecole Polytechnique fédérale de Lausanne, 2005.
- [9] Toufik ACHOUR, « Étude des techniques de réparation des structures composite endommagées », Université de Mentouri Constantine année 2010/2011.
- [10] Mohamed El Hadi BOURAHLI, Caractérisation d'un composite verre / époxy. Thèse doctorat, UNIVERSITE FERHAT ABBAS-SETIF 1, 2014.
- [11] Djebbloun Youcef, Etude de la rupture en MODE I d'ouverture des matériaux composites, Université de Biskra (2004).
- [12] Daniel Gay, Matériaux Composites 4ème Edition, Hermès 2009.
- [13] MEKIDECHE, Salih. Valorisation des déchets comme constituants des bio-composites. Mémoire de Master. Université Mohamed Boudiaf-M'sila, 2018.

Chapitre III :
Luffa et leurs applications

III.1 Parti 01 :

III.1.1 Historique :

Au Japon, l'utilisation de Luffa comme plante industrielle a commencé entre 1890 et 1895, après que la fibre, extraite du fruit mur, était capable de fabriquer des filtres pour moteur à vapeur et pour moteur diesel.

Luffa est une espèce d'origine tropicale d'Asie. Il s'agit d'une tradition alimentaire, médicale et ornementale qui est utilisée dans certains pays tels que l'Inde, la Malaisie, le Japon et le Moyen-Orient [1].

Ses fruits ont longtemps été employés comme « éponge végétale ».

La Luffa est une espèce annuelle de plantes herbacées de la famille des Cucurbitacées. Deux espèces principales de luffa sont cultivées : la luffa à angles ou gombo chinois (*acutangula* de Luffa), fruit non-mûr avec des arêtes longitudinales utilisée comme courge d'été, et la courge lisse de luffa ou d'éponge (*moulin d'aegyptiaca* de Luffa), parfois utilisée comme légume, mais dont le fruit mûr est principalement utilisé pour fabriquer des éponges pour des produits de beauté et le nettoyage de la peau [1].

III.1.2 Définition :

Le luffa ou loofah est un fruit tropical vert allongé de la famille des cucurbitacées, appelé également éponge végétale. Il est consommable à l'état jeune et prend ensuite une consistance fibreuse qui est utilisée pour fabriquer des éponges (comme les éponges de douche) [2].



Figure III.1 : Luffa sèche

III.1.3 Classification botanique :

La plante luffa est également classée selon le tableau suivant:[3]

Tableau III.1 : Classification botanique de luffa

Plantae	Régne
Tracheobionta	Sous Régne
Magnoliophyte	Division
Magnoliopsida	Classe
Cucurbitales	Ordre
Cucurbitacées	Famille
Luffa	Genre
Luffa aegyptiaca L	Espèce

III.1.4 Description de la plante :

Les fruits de la Luffa sont cylindriques et légèrement anguleux, droits et recourbes, et de taille très variable, allant de 40 à 90 cm de long et de 10 à 40 cm de large. Il est d'abord blanchâtre et un peu pubescent, puis devient vert et glabre pendant sa croissance (figure III.2).



Figure III. 2: Fruit de Luffa

Lorsque la plante atteint sa maturité, elle se présente sous la forme d'un ensemble de fibres à la fois souples (on peut les comprimer ou les étendre en modifiant leur teneur en eau). Son épicarpe est d'un brun-jaune foncé, glabre, sec et cartacé, avec un endocarpe fibreux et spongieux, à cause de la disparition de la pulpe et de la seule persistance des faisceaux fibro-vasculaires qui sont des fibres coriaces et tendues. Le fruit de la Luffa, à un stade avancé de la maturation, présente une structure spongieuse de fibres à la fois moelleuses et très légères [4].

III.1.4.1 Propriétés physiques :

- une densité comprise entre 0,7 et 0,86 ;
- Une couleur jaune à des températures élevées. (120°C) ;
- Brûlent de manière plus ou moins rapide. [4]

III.1.4.2 Stabilité chimique de la Luffa :

La Luffa à angles peut être conservée pendant 1 à 2 semaines à une température de 12°C [5,6].

III.1.4.2.1 Action des acides :

Les cordes de la Luffa sont détruites par les concentrés d'acide chlorhydrique et phosphorique à température ambiante. La cellulose est convertie en nitrocellulose par l'acide nitrique concentré [7].

III.1.4.2.2 Action des oxydants :

Les oxydants à faible concentration (agent de blanchiment, peroxyde d'hydrogène, EDTA) sont employés pour éliminer les colorants présents dans les fibres des cordes de Luffa et les blanchir [8].

III.1.5 Types de Luffa :

Le Luffa peut être classé suivant la forme et la taille du fruit [9] :

III.1.5.1 Luffa acutangula :

Elle est originaire d'Asie (Chine – Inde), mais elle se rencontre également en Afrique dans les savanes. Les fruits jeunes appelés « gombos de Chine » sont consommés et vendus, tandis que les fruits adultes sont employés dans la pharmacopée asiatique pour traiter la jaunisse, ainsi que comme produit vomitif et purgatif.



Figure III.3 : Le Luffa acutangula.

III.1.5.2 Luffa cylindrica :

Originaire d'Inde. Fruits en forme de cylindre (figure III.4), à pulpe, consommés jeunes, moins connus que l'espèce acutangula, utilisés comme éponge végétale. Élevé à grande échelle au Japon, en Inde et en Égypte .



Figure III.4 : Le Luffa cylindrica.

III.1.5.3 Luffa operculata :

cultivé au Brésil. Feuilles larges en forme de cœur ou de rein lobées, fruits de la prune, sphériques pointus à piques et s'ouvrant au sommet par un opercule (d'où le nom operculata). Il y a un réseau de fibres très fin à l'intérieur, avec des graines aplaties de couleur brune à noire (voir figure). Habituellement utilisé dans la pharmacopée traditionnelle.



Figure III.5: Le Luffa operculata.

Il s'agit des trois espèces les plus connues de Luffa, mais il y a également d'autres espèces telles que Luffa echinata Roxb et Luffa cordifolia Blume.

III.1.6 Composition chimique des fibres de Luffa :

La composition massique des différents composants de la Luffa est résumée dans le tableau III.2 ci-dessous:

Tableau III.2 : Composition chimique des fibres de Luffa [10].

Composant	Fraction massique (%)
Cendre	0,7 ± 0,2
Extractifs	3,1 ± 0,5
Lignine	15,2 ± 1,0
Cellulose	65,5 ± 0,5
Hémicellulose	17,5 ± 0,5
Holocellulose	83 ± 1

III.1.7 Caractérisation morphologique:

En moyenne, un plant de luffa *Cylindrica* donne 20 à 25 fruits d'un poids allant de 0,5 à 2,5 kg. Il y en a de toutes sortes, cylindriques ou un peu anguleuses, droites ou rectilignes. Le fruit est comestible au début de sa croissance, mais à maturité, il devient fibreux et spongieux car la pulpe disparaît, d'où son appellation « d'éponge végétale » ou « courge éponge ». Il a un opercule sur la face axiale au stade final de sa maturation, d'où tombe une petite graine noire quand le fruit sec est secoué. Un moyen fruit desséché a une masse d'environ 40g [4].

III.1.8 Utilisation de Luffa :

Le luffa a été utilisé comme plante industrielle au Japon entre 1890 et 1895, suite à la découverte de la capacité de la fibre, qui est extraite du fruit mur, à fabriquer des filtres pour les moteurs à vapeur et ceux à moteur diesel [11].

III.1.8.1 Domestique :

Les fruits jeunes servent de légume cru, tels que la courge, ou sont consommés comme des concombres . Après avoir séché la peau, la chair et les graines, le réseau de fibres peut servir d'éponge pour la salle de bains, de nettoyage des vitres et du verre. Le luffa peut également servir de filtres et de produits chimiques purgatifs. En raison de son réseau compact de fibres étroites, son élasticité le rend pratique pour divers produits tels que des filtres, du matériel d'emballage et des paniers [11,12].



Figure III.6 : Utilisation du luffa comme produit de toilette.

III.1.8.2 Pharmaceutique :

Les feuilles fraîches (en emplâtre) sont utilisées dans les domaines pharmaceutiques traditionnels brésiliens. Elles sont employées dans le traitement des furoncles, de la rhinite, de la sinusite, de l'aménorrhée et de l'hydropisie [14].



Figure III.7 : Utilisation du luffa comme produit pharmaceutique.

III.1.8.3 Médicale et biologique :

La plante a des propriétés toniques, émétiques et diurétiques, et elle est efficace dans le traitement de l'asthme et des affections de la peau. On la pratique à l'intérieur pour traiter le rhumatisme, les douleurs dorsales, les hémorragies internes et les hémorroïdes. On utilise les fibres de fruits secs comme des éponges abrasives dans le domaine des soins de la peau, afin de retirer la peau morte, ce qui entraîne une lueur douce sur la peau [15].



Figure III.8 : Utilisation du luffa comme médicament.

III.1.8.4 Cosmétique :

Enfin, on peut écraser la chair de ce fruit afin d'obtenir de la poudre de luffa. Elle est alors incorporée dans certaines formules cosmétiques pour produire des savons solides avec des propriétés exfoliantes. Chez Pachamamaï, nous incluons cette substance dans le savon exfoliant vegan Nour (voir ici). Contenant de l'huile de ricin, du beurre de karité et de l'huile de sacha-inchi, ce savon obtenu par saponification à froid adoucit l'épiderme, maintient l'élasticité de la peau et exfolie en douceur. Lorsqu'il entre en contact avec l'eau, il s'émulsionne rapidement et vous donne une mousse légère et onctueuse qui conserve tous les avantages du luffa [15].



Figure III.9 : Utilisation du luffa comme produit Cosmétique.

III.2 Parti 02 :

III.2.1 Étude de l'absorption d'eau des fibres végétale :

Le caractère hygroscopique des fibres a été déterminé en introduisant 100-180 mg de fibres dans un récipient. L'absorption d'eau a été mesurée à des intervalles de 2 heures jusqu'à ce que le poids soit stabilisé. Le pourcentage d'absorption d'eau dans les échantillons a été calculé selon l'Équation (1):

(1) où ΔW = absorption d'eau (%); W_f = poids de l'échantillon après immersion dans l'eau; W_i = poids de l'échantillon avant immersion dans l'eau [16].

III.2.2 Résultats et discussion :

III.2.2.1 Test d'absorption d'eau :

Le comportement d'absorption d'eau des composites naturels est largement influencé par de nombreux facteurs, tels que les traitements chimiques et physiques des fibres naturelles, la perméabilité des fibres, la cristallinité de la résine hôte, etc. Selon les résultats présentés dans la figure III.10, on peut observer que le taux d'absorption d'eau est significativement plus élevé au début du test. Ensuite, les valeurs tendent à se stabiliser et à devenir presque constantes, ce qui corrobore les résultats rapportés par M. Nobrega et al.

Selon de Paula et al, les matériaux lignocellulosiques ont tendance à absorber l'humidité, car ils sont principalement composés de cellulose, lignine et hémicelluloses. Les hémicelluloses sont considérées comme principalement responsables de l'absorption d'eau, bien que la cellulose non cristalline et la lignine jouent également un rôle important dans ce processus. Les parois cellulaires des fibres lignocellulosiques gonflent jusqu'à saturation en eau. Ensuite, l'eau commence à occuper les espaces libres entre les faisceaux de fibres et change leurs dimensions.

Le pourcentage le plus élevé d'absorption d'eau rapporté correspond à l'échantillon ULF. Cela peut être dû aux groupes polaires et hydroxyles présents dans les fibres naturelles, capables de former des liaisons hydrogène avec l'eau.

Des recherches précédentes ont montré que la charge absorbe l'eau en formant des liaisons hydrogène avec les molécules d'eau. Cependant, en comparant les types de fibres, chaque fibre donne des résultats et une hydrophilie différents. Pour les échantillons LFTP, LFTB, LFTA5 et LFTEJ, on peut observer que le pourcentage d'eau absorbée à saturation a diminué par rapport à l'échantillon non traité. Cela peut être dû à une diminution des groupes hydroxyles, entraînant une diminution de la caractéristique hydrophile de la fibre. En ce qui concerne l'échantillon LFTS, les silanes greffés à la surface de la fibre forment un réseau de molécules de polysiloxane. Par conséquent, ils modifient la morphologie des fibres, provoquant le gonflement des fibres de luffa et augmentant les dimensions et la porosité des fibres. Le traitement au silane diminue également l'adsorption d'eau par les fibres [16].

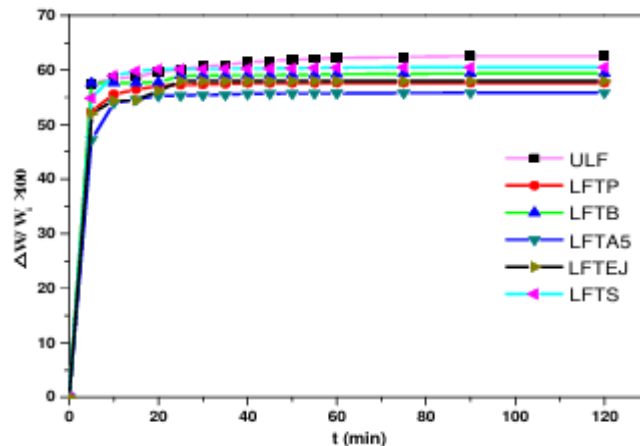


Figure III.10: Absorption d'eau en fonction du temps d'immersion dans l'eau des échantillons d'éponge de luffa traités et non traités.

III.2.3 Les analyse des fibres végétales :

III.2.3.1 Analyse thermogravimétrique (ATG) :

III.2.3.1.1 Définition :

L'analyse thermogravimétrique (ATG) est une technique analytique utilisée pour mesurer les variations de masse d'un échantillon en fonction de la température ou du temps sous une atmosphère contrôlée

III.2.3.1.2 Principe :

1. Préparation : L'échantillon est placé dans un creuset en aluminium et inséré dans l'analyseur ATG .
2. Atmosphère : une atmosphère de gaz inerte (par exemple, de l'azote) est maintenue pour éviter les réaction indésirables.
3. Chauffage : l'échantillon est chauffé à une vitesse constante, par exemple 20° C par minute, de 25° C à 600° C.
4. Collecte de données : La masse de l'échantillon est continuellement mesurée et enregistrée en fonction de la température.

III.2.3.2 Spectroscopie infrarouge à transformer de Fourier (FTIR) :

III.2.3.2.1 Définition :

La FTIR, ou spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (Fourier Transform Infrared Spectroscopy), est une technique analytique utilisée principalement pour obtenir le spectre

infrarouge d'absorption ou d'émission d'un solide, d'un liquide ou d'un gaz. La spectroscopie infrarouge permet d'identifier les différents types de liaisons chimiques présentes dans un échantillon et d'analyser sa composition chimique.

III.2.3.2.2 Principe :

➤ Source de lumière infrarouge: La technique utilise une source de lumière infrarouge qui traverse l'échantillon. Cette lumière couvre une large gamme de longueurs d'onde infrarouges.

➤ Interféromètre: L'interféromètre de Michelson est utilisé pour moduler la lumière infrarouge. Il divise la lumière en deux faisceaux, les recombine après avoir parcouru des trajets optiques différents, et crée des interférences. Cela produit un signal appelé interférogramme, qui contient l'information sur toutes les fréquences de la lumière infrarouge émise par la source.

➤ Échantillon: Lorsque le faisceau infrarouge traverse l'échantillon, certaines longueurs d'onde sont absorbées par les liaisons chimiques présentes dans l'échantillon. Cela modifie l'intensité du faisceau infrarouge selon les fréquences spécifiques des vibrations moléculaires.

➤ Détecteur: Le faisceau modulé (après interaction avec l'échantillon) est ensuite capté par un détecteur qui enregistre l'interférogramme.

➤ Transformée de Fourier: L'interférogramme est traité mathématiquement par une transformée de Fourier pour obtenir un spectre infrarouge, qui représente l'intensité d'absorption (ou de transmission) en fonction de la longueur d'onde ou du nombre d'ondes.

III.2.3.3 La Diffraction des Rayons X (DRX) :

III.2.3.3.1 Définition :

La diffraction des Rayons X (DRX) est une technique analytique utilisée pour déterminer la structure cristalline des matériaux.

Elle repose sur le phénomène de diffraction, où les rayons X, lorsqu'ils rencontrent un réseau cristallin, sont déviés dans des directions spécifiques.

III.2.3.3.2 Principe :

Le principe de fonctionnement de la DRX est basé sur la loi de Bragg. Lorsque des rayons X sont dirigés vers un cristal, ils sont diffusés par les plans atomiques du cristal. Les conditions pour qu'une diffraction constructive se produise sont données par la loi de Bragg : $n\lambda = 2d \sin \theta$, où n est un entier (ordre de diffraction), λ est la longueur d'onde des rayons X, d est la distance entre les plans atomiques, et θ est l'angle de diffraction. En analysant les angles et les intensités des pics diffractés, on peut déduire la structure du matériau.

III.2.4 Matériel des analyse études[17] :

Étude sur la fibre de Luffa cylindrique en Inde :

- Les fibres de Luffa ont été collectées à Rourkela, Odisha, en Inde.
- Le noyau intérieur a été séparé de celui extérieur.
- L'essence extérieure a été roulée pour créer une structure de tapis similaire après un lavage complet avec de l'eau distillée et l'air séché pendant 72 heures à la température ambiante.
- Le noyau externe a été roulé sur un tapis rectangulaire de 140 mm x 100 mm pour maintenir la même épaisseur dans toutes les directions.

➤ Ciba Geigy Ltd fournit la lysine (LY556) et le durcisseur (HY951), tandis que Mrk Chemicals fournit les produits chimiques pour la modification de surface.

III.2.5 Traitement chimique de la fibre de Luffa cylindrica :

III.2.5.1 Traitement alcalin :

Avant le traitement alcalin, les fibres de Luffa ont été soigneusement lavées à l'eau fraîche. Ensuite, les fibres de Luffa lavées ont été immergées dans une solution de NaOH à 5 % en maintenant un rapport de trempage de 15:1 (p/p) pendant 4 heures à température ambiante avec agitation continue. Ensuite, la solution alcaline a été évacuée et les fibres ont été correctement lavées à l'eau courante fraîche pour éliminer toute trace de NaOH adhérant à la surface des fibres. Enfin, les fibres ont été lavées avec de l'eau distillée contenant un peu d'acide acétique dilué, en maintenant un pH de 7. Les fibres ont ensuite été séchées à l'air pendant 48 heures, suivies d'un séchage au four à 70°C pendant 6 heures [17].

III.2.5.2 Traitement au chlorure de benzoyle :

Afin d'activer les groupes hydroxyle de la cellulose et de la lignine, les fibres ont été traitées initialement avec une solution alcaline, c'est-à-dire suspendues dans une solution de NaOH à 10 % pendant 1 heure, puis dans une solution de chlorure de benzoyle pendant 15 minutes avec agitation continue. Ensuite, la solution a été évacuée et les fibres isolées ont été trempées dans de l'éthanol pendant 1 heure afin d'éliminer le chlorure de benzoyle. Enfin, les fibres ont été correctement lavées à l'eau fraîche et séchées à l'air libre, suivies d'un séchage au four à 70°C pendant 6 heures [17].

III.2.5.3 Traitement au permanganate :

Les fibres prétraitées avec une solution de NaOH (concentration de 5 %) ont été trempées dans une solution de KMnO₄ à une concentration de 0,05 % avec de l'acétone pendant 1 minute. Ensuite, la solution de KMnO₄ a été évacuée et les fibres ont été séchées à l'air libre [17].

III.2.6 Analyse 01 : ATG

III.2.6.1 L'analyse thermogravimétrique (ATG) :

L'analyse thermogravimétrique a été réalisée sur la fibre de Luffa cylindrica (à la fois traitée et non traitée) en utilisant l'appareil Netzsch, Allemagne, STA449C/4/MFC/G, avec un taux de chauffage de 10°C/min jusqu'à 600°C.

III.2.6.2 Résultats et discussion de l'analyse ATG

La stabilité thermique du composite renforcé de fibres naturelles dépend des constituants chimiques (cellulose, hémicellulose et lignine) de la fibre. La dégradation thermique de la lignine, de l'hémicellulose et de la cellulose se produit sur une gamme de températures, c'est-à-dire 160–900°C, 220–315°C et 315–400°C, respectivement. Le processus est irréversible. La lignine se décompose à un rythme plus lent par rapport aux autres composants de la lignocellulose. La courbe TGA et la perte de poids à différentes températures des fibres de Luffa cylindrica non traitées et traitées sont présentées dans la Figure 9 et le Tableau III.3 Il est évident d'après la figure et le tableau que la stabilité thermique des fibres traitées chimiquement est supérieure à celle de la fibre non traitée. La fibre traitée au KMnO₄ montre une meilleure stabilité thermique. La première étape de dégradation a été complétée en dessous de 100°C avec une perte de poids de 7,32 à 9,7 %, ce qui

peut être dû à l'évaporation de l'humidité présente dans les fibres. La prochaine étape de dégradation commence à 264–278°C, ce qui peut être dû à la décomposition de l'hémicellulose et de la liaison glycosidique de la cellulose. Le taux maximum de décomposition se produit aux alentours de 313°C pour les fibres non traitées ; cependant, il est déplacé à 337°C, 342°C et 360°C pour les fibres traitées à l'alcali, au chlorure de benzoyle et au KMnO_4 . La décomposition thermique des fibres non traitées et traitées à l'alcali est complétée à 417°C. Cependant, elle est déplacée à 429 et 435°C pour les fibres traitées au KMnO_4 et au chlorure de benzoyle. Globalement, la décomposition des substances cellulosiques est légèrement déplacée vers des températures plus élevées pour les fibres traitées. L'augmentation de la stabilité thermique dans le matériau cellulosique peut être due à l'ordonnement des chaînes de cellulose conduisant à une stabilité thermique plus élevée.

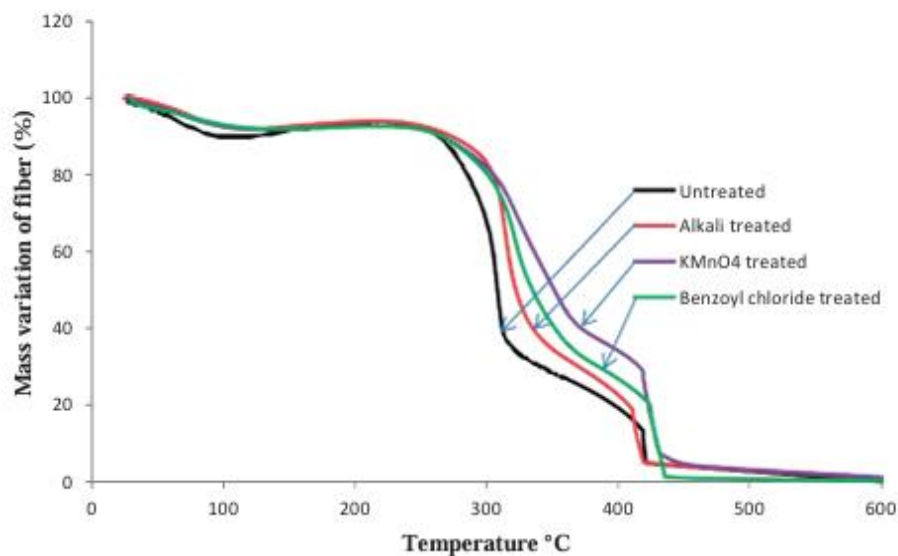


Figure III.11 : Analyse thermogravimétrique des fibres de *Luffa cylindrica* traitées et non traitées.

Tableau III.3 : Perte de poids en pourcentage des fibres de *Luffa* non traitées et traitées à différentes températures.

Température (°C)	non traité	Alkali traité	Benzoyl chloride	KMnO_4 traité
100	9.77	7.43	6.91	7.44
200	6.19	6.12	7.41	7.30
300	31.81	17.30	19.40	17.80
400	80.81	77.31	73.06	65.70
500	97.38	97.06	99.31	96.82

III.2.7 Analyse 02 : FTIR

III.2.7.1 La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) :

Le groupe fonctionnel des fibres de *Luffa cylindrica*, traitées et non traitées, a été déterminé

en utilisant la spectroscopie FTIR. La mesure FTIR a été réalisée à l'aide d'un spectromètre IR-Prestige-21 avec une vitesse de balayage de 40 dans la plage des nombres d'onde de 400 à 4000 cm^{-1} avec une résolution de 0,5 cm^{-1} . De la poudre de KBr a été utilisée pour fabriquer des pastilles pour une utilisation en analyse spectroscopique.

III.2.7.2 Résultats et discussion de l'analyse FTIR :

La comparaison des spectres FTIR pour les fibres de *Luffa cylindrica* avant et après modification chimique (traitement alcalin, chlorure de benzoyle et KMnO_4) est présentée dans la Figure III.12, et les bandes possibles et leurs assignations sont présentées dans le Tableau III.4. Comme l'ont souligné Khan et al. les caractéristiques générales du spectre IR de la fibre naturelle sont principalement dues à l' α -cellulose, aux hémicelluloses et à la lignine. En comparaison avec la *Luffa cylindrica* non traitée, les fibres traitées au moyen d'un alcalin, de chlorure de benzoyle et de KMnO_4 ont montré une réduction des spectres d'absorption en raison de la dissolution des composés covalents non polaires tels que la cire, la graisse, etc... avec les traitements. L'effet est plus significatif dans le cas du traitement au chlorure de benzoyle, car il s'agit d'un solvant non polaire puissant qui dissout davantage de composés non polaires. Le groupe fonctionnel majeur de la fibre de *Luffa cylindrica* reste le même après modification chimique. Cependant une réduction de l'intensité des pics et un léger décalage sont observés dans de nombreux cas. La bande à 3464 cm^{-1} correspond à l'étirement O–H lié par des liaisons hydrogène qui est décalé à 3568 cm^{-1} pour les fibres traitées au chlorure de benzoyle et au KMnO_4 , indiquant la participation du groupe hydroxyle libre dans ces réactions chimiques. Le pic à 2922 cm^{-1} correspond à l'étirement C–H saturé des groupes méthylène et méthyle.²⁶ Le pic à 2850,7 cm^{-1} est présent dans les fibres non traitées et traitées chimiquement, correspondant à l'étirement C–H de l'aldéhyde. Le pic à 2360 cm^{-1} est assigné à l'étirement C–O de l'acétyle ou de l'acide carboxylique, qui est décalé à 2358 cm^{-1} dans le cas des fibres traitées au chlorure de benzoyle et au KMnO_4 . Un pic à 1728 cm^{-1} pour les fibres non traitées correspond à l'étirement C=O des groupes carboxyle et acétyle de l'hémicellulose. Celui-ci est décalé à 1732 cm^{-1} pour le traitement alcalin, à 1734 cm^{-1} pour le chlorure de benzoyle et le KMnO_4 et une réduction de l'intensité du pic est observée, probablement en raison de la suppression du groupe acétyle présent dans l'hémicellulose. Le pic à 1539 cm^{-1} assigné à l'étirement aromatique C=C est décalé à 1541 cm^{-1} pour les fibres traitées au chlorure de benzoyle et au KMnO_4 . Le pic autour de 1456 cm^{-1} est assigné à la déformation CH_3 (asymétrique) dans la lignine. La bande d'intensité moyenne à 1192 cm^{-1} correspondant à l'étirement antisymétrique du pont C–O dans le groupe acétyle xylène présent dans les fibres non traitées est décalée à 1193 cm^{-1} pour le traitement au chlorure de benzoyle. Cependant elle disparaît dans les fibres traitées au KMnO_4 . Cela peut être dû à la suppression des groupes acétyles présents dans l'hémicellulose.²⁷ Le pic à 1047 cm^{-1} est assigné à la déformation aromatique C–H dans le plan et à la déformation C–O²⁷ pour l'alcool primaire dans la lignine, se trouve de plus forte intensité pour les fibres non traitées par rapport aux fibres traitées chimiquement. Le pic autour de 862 cm^{-1} représente une déformation antisymétrique hors phase de l'anneau, qui est décalée à 866 cm^{-1} , 862 cm^{-1} et 873 cm^{-1} pour les fibres traitées à l'alcalin, au chlorure de benzoyle et au KMnO_4 , respectivement.

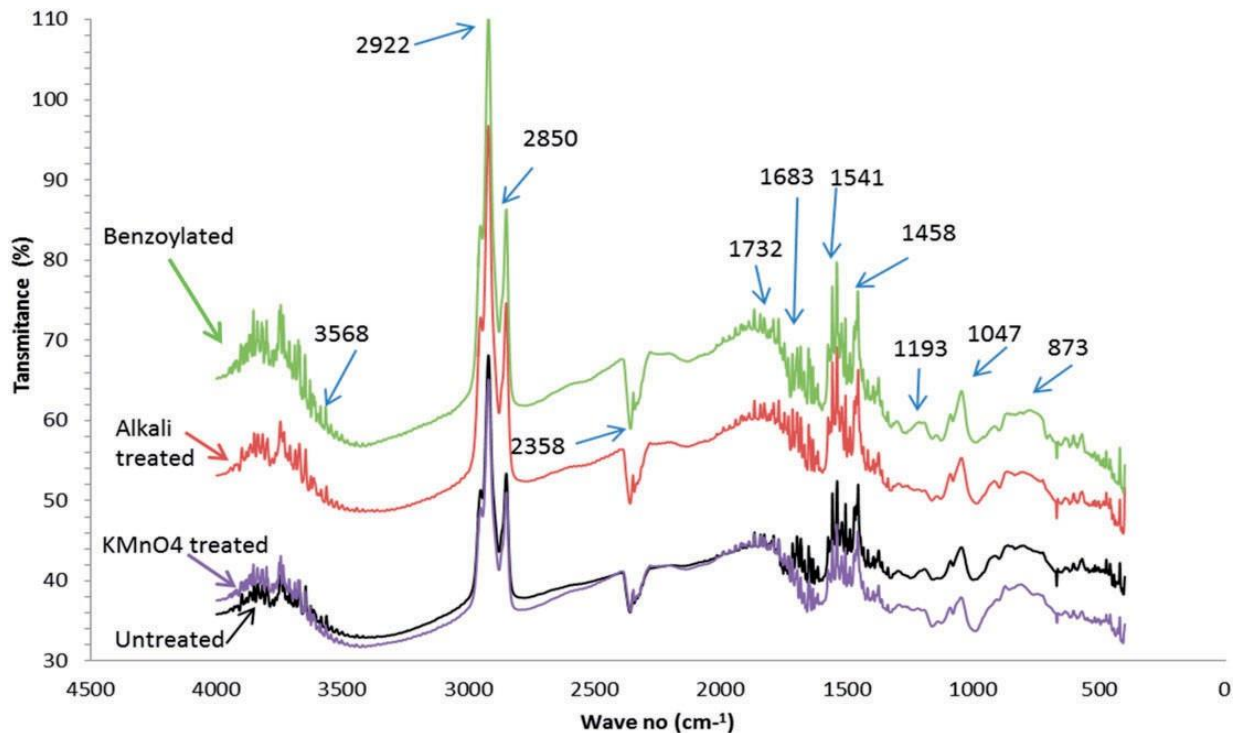


Figure III.12 : Spectres FTIR des fibres de *Luffa cylindrica* traitées et non traitées.

Tableau III.4 : Données spectrales FTIR des fibres de luffa non traitées et traitées.

Numéro d'onde (cm ⁻¹)	Assignations possibles	Non traité	Alcalin traité	Benzoylé traité	KMnO ₄ traité
3564	Étirement O–H de la cellulose	3564	3564	3568	3568
2922	Étirement C–H saturé	2922	2922	2922	2922
2850	C–H de l'aldéhyde	2850	2850	2850	2850
2360	Étirement C–O d'acétyle ou d'acide carboxylique	2360	2360	2358	2358
1728	Étirement C=O d'acide carboxylique	1728	1732	1734	1734
1681	C=O de l'amide	1681	1683	1683	1683
1647	C=C de l'alcène	1647	1652	1652	1652
1539	C=C aromatique	1539	1539	1541	1541
1456	Déformation CH ₃	1456	1456	1456	1456
1192	Étirement antisymétrique C–OR–C du pont	1192	-	1193	-
1047	Déformation C–H, C–O	1047	1047	1047	1047
862	Anneau antisymétrique hors phase	862	866	862	873

III.2.8 Analyse 03 : DRX

III.2.8.1 La diffraction des rayons X (DRX) :

La diffraction des rayons X a été réalisée pour évaluer la structure cristallographique de matériaux semi-cristallins tels que la fibre de *Luffa cylindrica* et pour vérifier le changement de caractère cristallin du matériau après des traitements chimiques. Une diffraction des rayons X polyvalente Regaku Ultima IV utilisant une radiation CuK α (λ 1,54) et un monochromateur en graphite avec un courant de 40 mA et une tension de 40 mV a été utilisée avec une intensité de diffraction dans la plage de 5 à 45° (plage d'angle 2θ).

III.2.8.2 Résultats et discussion de l'analyse DRX :

Les parois cellulaires des fibres végétales sont principalement constituées de cellulose, d'hémicellulose et de lignine. La cellulose se compose de régions amorphes et cristallines, tandis que la lignine et l'hémicellulose sont amorphes. Les diffractogrammes de rayons X des fibres de *Luffa cylindrica* non traitées, traitées à l'alcali, traitées au chlorure de benzoyle et traitées au KMnO $_4$ sont présentés dans la Figure 8. On observe que le principal pic cristallin de chaque profil apparaît autour d'une valeur de 2θ allant de 22,5° à 22,75°, ce qui représente le plan cristallographique de la cellulose (002). Cependant, le pic amorphe (I_{am}) de chaque profil apparaît à une valeur de 2θ allant de 14,95° à 16,45°. Les indices de cristallinité des fibres traitées et non traitées ont été calculés en utilisant l'équation suivante :

$$I_c = \frac{I_{002} - I_{am}}{I_{002}}$$

où ' I_{002} ' est l'intensité maximale de diffraction du pic du réseau (002) et ' I_{am} ' est l'intensité de diffraction du matériau amorphe où l'intensité est minimale.

Les diffractogrammes de rayons X montrent que l'intensité du plan cristallographique (002) et du plan amorphe (am) a augmenté de manière significative avec la modification chimique des fibres, et les fibres traitées à l'alcali montrent l'intensité maximale. Les résultats sont résumés dans le (Tableau III.5). L'indice de cristallinité des fibres de *Luffa cylindrica* augmente avec les traitements chimiques. L'indice de cristallinité le plus élevé est observé pour les fibres traitées à l'alcali, suivies des fibres traitées au chlorure de benzoyle et au KMnO $_4$. Cela pourrait être dû à un meilleur emballage et à la relaxation des contraintes de la cellulose suite à l'élimination des constituants amorphes et de la pectine des fibres. Ray et al. ont également observé une augmentation similaire lors de leurs travaux sur le traitement des fibres de jute à la soude caustique. L'augmentation de la cristallinité par différents traitements chimiques pourrait améliorer les propriétés mécaniques des composites renforcés de fibres traitées.

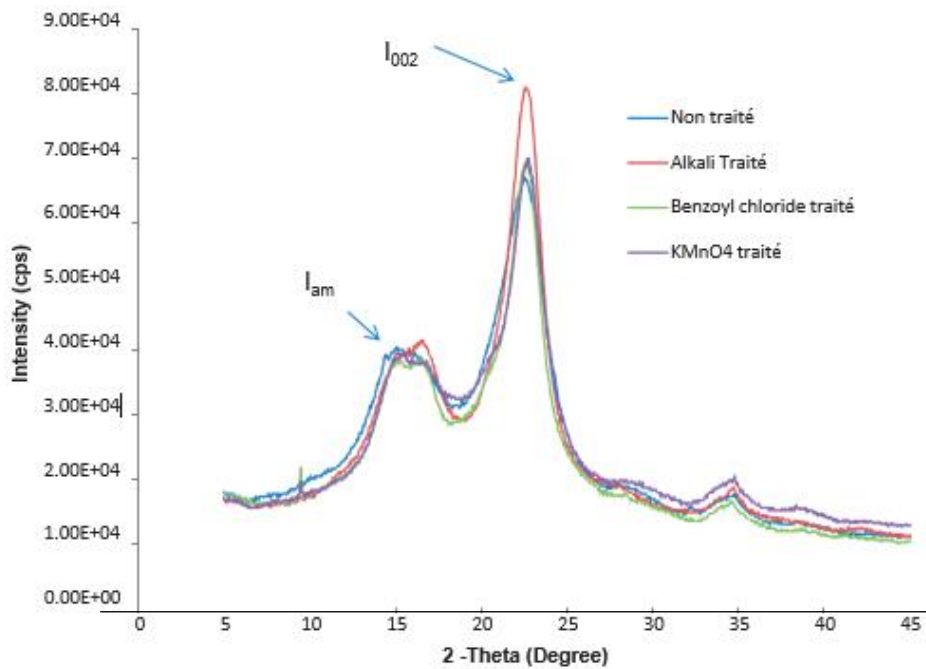


Figure III.13 : Diagramme de diffraction des rayons X (XRD) des fibres de *Luffa cylindrica* non traitées et traitées.

Tableau III.5 : Variation de l'indice cristallin et du pourcentage cristallin de la fibre de luffa non traitée et traitée.

Traitement de la fibre	Intensité maximale (I_{lam})	Angle (2θ) à I_{lam}	Intensité maximale (I_{002})	Angle (2θ) à I_{002}	Indice de cristallinité (CI)
Non traité	40 678	15°	67 120	22,5°	0,39
Traité alcalin	40 985	16,05°	81 300	22,6°	0,49
Benzoylé	38 836	16,45°	69 312	22,55°	0,44
Traité au $KMnO_4$	39 696	14,95°	70 003	22,75°	0,43

III.2.9 Les analyses des matériaux composites :

III.2.9.1 Influence de la modification chimique sur les propriétés mécaniques :

La Figure III.14 montre l'effet des différentes modifications chimiques des fibres de *Luffa cylindrica* sur la résistance à la traction et à la flexion du composite. Il est clairement visible sur la figure que tant la résistance à la traction que la résistance à la flexion du composite sont nettement améliorées en raison de la modification chimique de la surface des fibres. On observe une augmentation de 41 %, 59 % et 47 % de la résistance à la traction et une augmentation de 47 %, 68 % et 56 % de la résistance à la flexion pour les composites de fibres traitées à l'alcali, au chlorure de benzoyle et au $KMnO_4$ par rapport aux composites de fibres non traitées. La Figure III.15 montre le module de traction et de flexion des composites de fibres non traitées et traitées. D'après la figure, il est clair que le module de traction et de flexion du composite augmente également en raison de la modification chimique de la fibre. À partir de la Figure III.16 on observe clairement que la

modification chimique de la fibre a amélioré le CISL du composite époxy LC. La plus grande amélioration du CISL a été observée pour le composite traité à l'alcali, soit environ 95 % de plus que le composite de fibres non traitées. La Figure III.16 montre la résistance aux chocs du composite. La résistance aux chocs augmente d'environ 32 %, 49 % et 36 % pour les composites renforcés de fibres traitées à l'alcali, au chlorure de benzoyl et au $KMnO_4$ par rapport au composite de fibres non traitées. Cette amélioration de toutes les propriétés mécaniques est due à la création d'une surface de fibre rugueuse avec l'élimination des impuretés naturelles et artificielles, et à la fibrillation de la fibre qui facilite l'ancrage mécanique entre la fibre et la matrice. En comparant les propriétés de tous les composites de fibres traitées, on constate que le composite de fibres traitées au chlorure de benzoyl donne les meilleurs résultats. Nair et al., Fiore et al. et Kushwaha et al. ont également rapporté des observations similaires lorsqu'ils travaillaient respectivement avec des fibres de sisal benzoylées, des fibres de kenaf traitées à l'alcali et des fibres de bambou traitées au $KMnO_4$ [17].

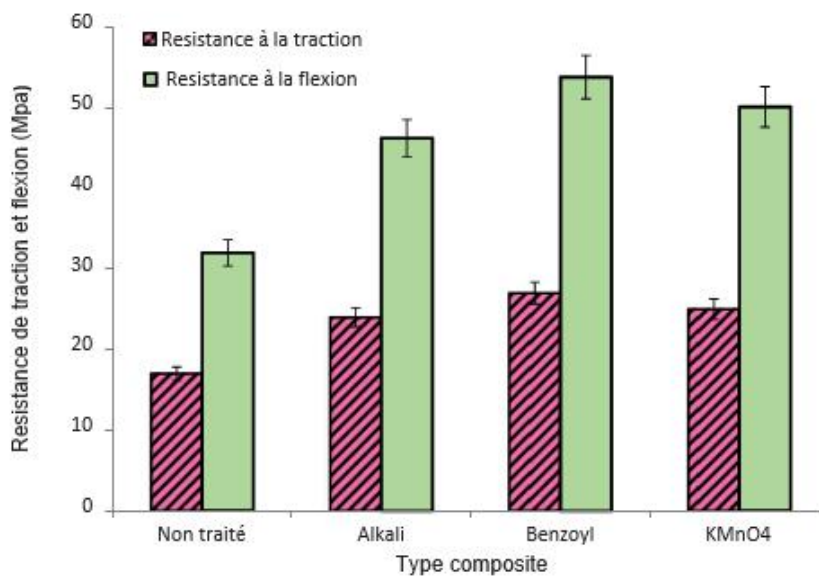


Figure III.14 : Propriétés en traction et en flexion du composite époxy à fibres de luffa non traitées et traitées

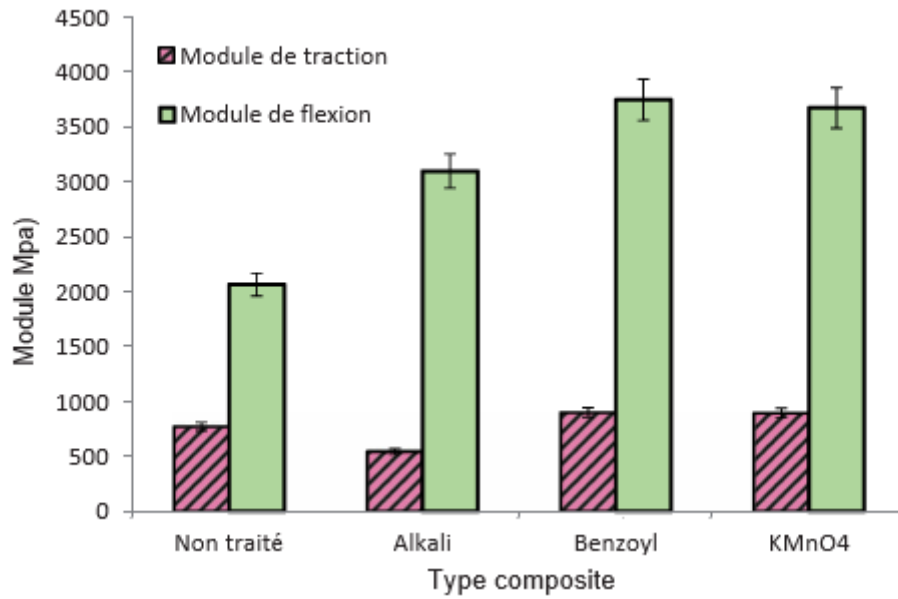


Figure III.15 : Module de tension et de flexuration de fibre époxy composite Luffa non traitée et traite.

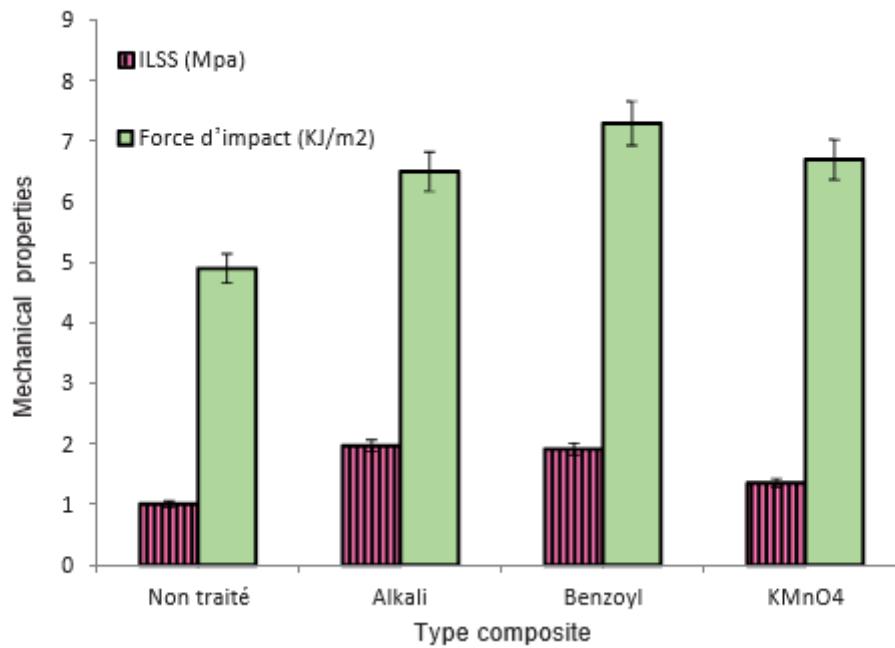


Figure III.16 : ILSS et résistance à l'impact du composite de fibre époxy Luffa non traité et traité.

Les Références :

- [1] Ellington, T.L. and T.C. Wehner. 1996. Postharvest treatments for producing sponges from immature fruits of luffa gourds. *Cucurbit Genet. Coop. Rpt.* 19:85-86.
- [2] Abitogun, A.S. ; Ashogbon, A.O., « Nutritional Assessment and Chemical Composition of Raw and Defatted Luffa cylindrica Seed Flour », *Ethnobotanical Leaflets*, Vol. 14, pp. 225-235, 2010.
- [3] Roble N.D., Ogbonna J.C., Tanaka H., L-Lactic Acid Production from Raw Cassava Starch In A Circulating Loop Bioreactor with Cells Immobilized in Loofa (Luffa Cylindrica), *Biotechnology Letters* ,(13)25 ,p. 1093 (2003).
- [4] Ramirez, A. J., Brain, R. A., Usenko, S., Mottaleb, M. A., O'Donnell, J. G., Stahl, L. L., Wathen, J. B., Snyder, B. D., Pitt, J. L., Perez-Hurtado, P., Dobbins, L. L., Brooks, B. W. and Chambliss, C. K. (2009). *Occurrence of pharmaceuticals and personal care products in fish: Results of a national pilot study in the United States*. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 28: 2587–2597. doi: 10.1897/08-561.1.
- [5] Zong, R., M.I. Cantwell and L.L. Morris. 1993. Postharvest handling of Asian specialty vegetables under study. *Calif. Agric.* 47(2):27-29.
- [6] Cantwell, M. 1997. Properties and recommended conditions for storage of fresh fruits and vegetables at http://postharvest.ucdavis.edu/produce/storage/sci_dl.
- [7] H. Cherifi, S. Hanini, F. Bentahar, Adsorption of phenol from wastewater using vegetal cords as a new adsorbent, *Desalination* 244 (2009) 177–187.
- [8] S. Hanini, M.N Bouaziz, M. Renaud, G. Mortha, A. Marechal and G. Henini, 9th Congrès de la société française de génie des procédés, St. Nazaire, – France, Récents progrès en génie des procédés, 15.
- [9] « Luffa Aegyptica-Luffa, Eponge végétales. », Société des Gens de Lettres-jardin l'encyclopédie, 2003.
- [10] Siqueira et al. (2010). "Luffa as a cellulose source." *BioResources* 5(2), 727-740
- [11] J. Arnott ; luffa sponge gourd. The University of Georgia and Ft. Valley state University, the U.S. Department of Agriculture and counties of the state cooperating.
- [12] Luffa Aegyptica- Luffa. Eponge végétale. Société des gens de lettres-jardin l'encyclopédie 2003.
- [13] Partap. S.: Kumar, A.: Sharma. N. K.: Jha. K.K., Luffa cylindrica: An important medicinal plant. *Journal product and plant Resource* 2012, V .2(1) ,127-134.

- [14] <https://pachamamai.com/blogs/blog/le-luffa-courge-tropicale-aux-fibres-exfoliantes#> : [1]
Werpy, T., Petersen, G. Top Value Added Chemicals from Biomass : Volume I – Results of Screening for Potential Candidates from Sugars and Synthesis Gas, National Renewable Energy Lab., Golden, CO (US), 2004.
- [15] Partap. S.: Kumar, A.: Sharma. N. K.: jha. K.K., *Luffa cylindrica*: An important medicinal plant. Journal product and plant Ressource 2012, V .2(1) ,127-134.
- [16] NOURI LAIB, AZZEDINE BENYAHIA, ALI REDJEM and NADIR DEGHEFEL, EFFECT OF CHEMICAL TREATMENT WITH OXIDANTS ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF LUFFA SPONGE/UNSATURATED POLYESTER COMPOSITES. Cellulose Chem. Technol., 55 (1-2), 159-167(2021).
- [17] N Mohanta and SK Acharya, Fiber surface treatment: Its effect on structural, thermal, and mechanical properties of *Luffa cylindrica* fiber and its composite. Journal of Composite Materials 0(0) 1–15A The Author(s) 2015.

Concluions Général

L'étude bibliographique dans notre recherche me permet d'acquérir un ensemble des connaissances de concepts sur la fibre luffa et son nom, structure chimique, répartition géographique, son domaine d'application et nomenclature. Quant à la partie pratique, nous avons une étude sur les renforcements polymère avec des fibres végétales de luffa par traitement chimique.

L'utilisation des fibres végétales dans une matrice thermoplastique ou thermodurcissable est une technique déjà utilisée et industrialisée notamment dans l'automobile (panneaux intérieurs, garnitures de toit, planchers de camion etc.), la construction (profilés de portes et de fenêtres, clôtures, bardages etc.).

L'objectif du traitement chimique est d'éliminer les impuretés et d'améliorer l'adhérence entre les fibres et la matrice, produisant ainsi des matériaux composites aux propriétés mécaniques et physiques supérieures. L'intégration des fibres végétales traitées dans les matériaux composites non seulement améliore les performances, mais contribue également à la durabilité environnementale en utilisant des ressources renouvelables et en réduisant la dépendance aux matériaux pétroliers.

Ainsi, il est évident que l'importance et l'objectif du traitement chimique des fibres végétales vont au-delà de l'amélioration des propriétés mécaniques pour inclure également les aspects environnementaux et économiques. En poursuivant la recherche et le développement dans ce domaine, nous pouvons réaliser des progrès significatifs dans l'amélioration des performances des matériaux composites et contribuer à la construction d'un avenir plus durable et efficace.