

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique



Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : énergétique

Thème

**Etude des propriétés mécaniques des fibres naturelles et
de leur exploitation dans l'industrie légère**

Devant le jury composé de :

- **Boulifa mohammed iliasse** Président
- **Houda berkane** Examineur
- **Gherbi Mohamed Taher** Encadreur

Présenté par :

- **Bouta Soufian**
- **Belhadi Soufiane**
- **Nessrat Rabie**

Année université 2022/2023

Remerciement

Je tiens tout d'abord à exprimer ma gratitude envers Dieu, notre Créateur, qui m'a accordé la force nécessaire pour mener à bien ce travail.

*Je souhaite également remercier Monsieur **GHERBI Mohamed Taher**, directeur de cette recherche, pour son soutien et ses conseils précieux.*

Mes remerciements vont également à tous les enseignants du Département de génie mécanique. Je tiens à ce que toute personne ayant contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail, accepte mes sincères et profonds remerciements.

Dédicace

*Tout d'abord, je tiens à exprimer ma reconnaissance à Allah, qui m'a guidé sur le bon chemin. Je souhaite rendre hommage à ma mère pour son assistance fidèle et son soutien constant tout au long de ma formation. Une fois
de plus*

*je tiens à remercier chaleureusement toute ma famille, à
qui je dédie ce travail*

*Mes remerciements s'étendent également à tous mes amis,
sans exception*

الملخص

الهدف الأساسي لعملنا هذا هو تطوير وتوصيف مادة مركبة صفائحية عضوية مقواة من ألياف الحلفاء. الخليط المستعمل في دراستنا هو عبارة عن مزيج متحصل من خلط الراتنج من نوع ايبوكسي وألياف الحلفاء. طريقة التصنيع التي اعتمدنا عليها هي القولية بالتلامس على مستوى المخبر الجامعة. دراسة بعض الخصائص الميكانيكية والفيزيائية عند إجراء اختبار الشد التي من خلالها استنتجنا ان المادة المركبة المستعملة في دراسة مقبولة.

الكلمات المفتاحية: المواد المركبة العضوية، الألياف النباتية، الخصائص الميكانيكية

Résumé

L'objectif principal de nos travaux est de développer et de caractériser un matériau composite organique lamellaire renforcé de fibres HLFA.

Le mélange utilisé dans notre étude est un mélange obtenu en mélangeant de la résine époxy et des fibres HLFA.

La méthode de fabrication sur laquelle nous nous sommes appuyés est le moulage par contact au niveau du laboratoire universitaire.

Étudier certaines propriétés mécaniques et physiques lors de la réalisation d'un essai de traction, à travers lequel nous avons conclu que le matériau composite utilisé dans l'étude est acceptable.

Mots clés : matériaux composites organiques, fibres végétales, propriétés mécaniques.

Abstract

The primary goal of our work is to develop and characterize an allied fiber reinforced lamellar organic composite material

The mixture used in our study is a mixture obtained by mixing epoxy resin and allied fibers The manufacturing method that we relied on is contact molding at the university laboratory level.

Studying some mechanical and physical properties when conducting a tensile test, through which we concluded that the material The vehicle used in the study is acceptable.

Keywords: organic composite materials, plant fibers, mechanical properties.

Table des matières

	Page
Dédicace	
Remerciement	
Résumé	
Table des matières	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction général	a
Chapitre I: Généralité sur Matériaux composites	
Introduction	4
I. Fibres végétales	
I.1 Définition de la fibre végétale	4
I.2 Autres Etudes	4
I.2.1 Benmounah Abdelbaki et Bezzazi Boudjema	4
I.2.2 Beldjoud Nedjmeddine	4
I.2.3 Djebbloun Youcef	4
I.2.4 Dabbari Zahra	4
I.2.5 Yahiaoui Lamia	4
I.2.6 Derfouf Semcheddine, Chouchane Nacer	5
I.2.7 Mohamed El Hadi BOURAHLI	5
I.2.8 Meriem El Boustani	5
I.2.9 Raymond Hajj	5
I.2.10 Negoudi Abdelhakim, Khinech Sayah	5
I.3 Classification des fibres végétales	5
I.4 Avantages et inconvénients des fibres végétales	6
I.5 Applications des fibres végétales	6
I.5.1 En automobile	7
I.5.2 En construction	8
I.5.3 Autres applications	8
I.6 Traitements des fibres végétale	9
I.6.1 Traitement alcalin	9
I.7 Fibre animaux	10
I.7.1 Matériaux composites	11

Table des matières

I.8	Matériaux composites	12
I.9	Conclusion	14
Chapitre 2: Matériels et méthodes (Les essais mécaniques)		
	Introduction	16
II.1	Essai d'absorption d'eau	16
II.2	Les essais mécaniques	18
II.3	Essai de traction	21
II.4	Essai de flexion	24
II.5	Essai de la dureté	26
II.6	Essai de compression	27
II.7	Mesure de l'impact	28
II.8	Essais thermiques	29
II.9	La conductivité thermique	30
II.10	Conclusion	32
Chapitre 3: Partie expérimentale		
	Introduction	34
III.1	Préparation et fabrication	34
III.1.1	PREPARATION DES MATERIAUX	34
III.2.1.a.	Traitement chimique	36
III.2.2.	Matériels	37
III.2.3.	Préparation des éprouvettes	39
III.2.3.1	Technique de fabrication	39
III.3	Caractérisation physique	40
III.3.1.	Préparation des échantillons pour les analyses	40
III.3.2.	FTIR	41
III.3.3	DRX	42
III.3.4	MEB	44
III.4	Procédé d'élaboration des éprouvettes	45
III.4.1.	Dispositif expérimental	46
III.5	Résultats et discussion	46
III.5.1.	Essai de traction	46
III.5.2	Essai de flexion 3-points	48
III.6	Conclusion	50
Conclusion générale		52

Table des figures

Chapitre I: Généralité sur Matériaux composites

Fig. I.1: Quelques Applications des Fibres Végétale	4
Fig. I.2: Application des composites à base des fibres végétales	5
Fig. I.3: Sources de fibres animales.....	8
Fig. I.4: les autres fibres d'origine NATURELLE ANIMALE	9
Fig. I.5 : Schéma simplifié d'un réseau maillé	10

Chapitre 2: Matériels et méthodes (Les essais mécaniques)

Fig. II.1 : Abaca, jute et sisal.....	20
Fig. II.2 : Schéma d'un essai de traction sur une fibre élémentaire de lin	21
Fig. II.3 : Essai de flexion	24
Fig. II.4 : Une machine renforcée et un capteur de force de capacité élevée	27

Chapitre 3: Partie expérimentale

Fig. III.1 : halfa	34
Fig. III.2 : coupes halfa	34
Fig. III.3 : halfa séchés	34
Fig. III.4 : : Résine polyester.....	34
Fig. III.5 : Moule en acier	35
Fig. III.6 : Pompe à vide.....	35
Fig. III.7 : halfa tout en mettant de l'eau distillée et du sel ...	36
Fig. III.8 : l'eau distillée	36
Fig. III.9 : Sel	36

Table des figures

Fig. III.10 : pendant le lavage	37
Fig. III.11 : Apres le lavage.....	37
Fig. III.12 : pendant le traitement avec Na OH.....	37
Fig. III.13 : Na OH.....	37
Fig. III.14 : Pendant le séchage	37
Fig. III.15 : Ajouter des Halfa dans le moule.....	37
Fig. III.16 : la résine	38
Fig. III.17 : fixateurs	38
Fig. III.18 : Moule	3
Fig. III.19 : Technique de fabrication	40
Fig. III.20 : Échantillon étudié	40
Fig. III.21 : Technique de fabrication	40
Fig. III.22 : Traitement infrarouge de l'échantillon	41
Fig. III.23 : Spectroscopie FTIR de fibres d'HLFA non traitées	42
Fig. III.24 : Spectroscopie FTIR de fibres HLFA traitées	42
Fig. III. 25 : Appareille de mesure rayons X	43
Fig. III.26 : Diagrammes de diffraction des rayons X de Hlfa non traitées	43
Fig. III.27 : Diagrammes de diffraction des rayons X de HLFA traitées	44
Fig. III.28 : Microscope électronique	44
Fig. III.29 : Micrographies électroniques à balayage de HLFA non traitées... ..	45
Fig. III.30 : Micrographies électroniques à balayage d'HLFA traitées	45
Fig. III.31 : Machine d'essai Z250/SN5A	46
Fig. III.32 : Evolution de la contrainte en fonction de la déformation longitudinale pour l'hybride FIBRE HLFA... ..	47
Fig. III.33 : Dispositif de flexion 3-points	48
Fig. III.34 : Evolution de la force en fonction du déplacement pour le composite fibre de halfa	49

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tab. I.1: Avantage et inconvénients des fibres naturels.....	6
Tab. II.1: Composition chimique de la fibre de coton, de la fibre d'arec, du PALF et de la fibre de banane.....	18
Tab. II.2: Propriétés mécaniques du matériau composite jute/banane.....	19
Tab. III.1: propriétés de la résine.....	38
Tab. III.2: Dimensions des éprouvettes en (mm).	46
Tab. III.3: Les valeurs d'essai d'déformation et contrainte.....	47
Tab. III.4: Caractéristiques mécaniques de FIBER HALFA (Chargement en traction).....	48
Tab. III.5 : Caractéristiques mécaniques du composite fiber de Halfa. (Chargement en flexion 3-points).....	49
Tab. III.6 : Les valeurs l'essai de déplacement et la force	49

Liste des abréviations

Liste des abréviations

- E : est le module d'élasticité (MPa) ;
- σ : est la contrainte de traction (N/m²);
- ε : est la déformation correspondante (%).
- F : Force de traction (N) ;
- S : Section rompue (mm²) ;
- σ_r : Contrainte de rupture (GPa) ;
- E : Module d'Young (MPa).
- L₀ : Distance entre mords (mm).
- S : Surface ou section (mm²).
- ε : La déformation de la longueur des éprouvettes $\varepsilon = \Delta L / L_0$.
- ΔL : L'allongement des éprouvettes (mm).
- $\Delta l = l - l_0$: Allongement à la rupture;
- l₀ : Longueur initiale de l'éprouvette ;
- l : Longueur finale de l'éprouvette ;

Introduction Générale

Introduction générale

Introduction générale

Les fibres végétales naturelles sont des matériaux issus de plantes qui sont utilisés dans diverses applications, notamment dans l'industrie textile, l'ameublement, l'artisanat et l'industrie papetière. Voici quelques exemples de fibres végétales naturelles :

Hlfa, Coton, Lin, Chanvre, Jute, Ramie.

Les fibres naturelles sont utilisées dans une variété de domaines en raison de leurs propriétés uniques et de leur durabilité. Voici quelques domaines d'utilisation courants des fibres naturelles :

Textile et mode, Construction et isolation, Papeterie, Emballage, Meubles et ameublement.etc

Les matériaux composites naturels sont des matériaux qui sont fabriqués en combinant des composants naturels provenant de sources renouvelables. Ces matériaux combinent généralement une matrice naturelle avec des renforts naturels pour obtenir des propriétés spécifiques, Ils sont utilisés dans divers domaines, notamment :

Industrie automobile, Industrie du meuble, Emballage ... etc

Le contenu de la mémoire est formé de trois Chapitres :

Chapitre I : Généralité sur Mâtereaux composite

Les matériaux composites sont des matériaux fabriqués en combinant différentes substances afin de tirer parti des propriétés individuelles de chaque composant. Les matériaux composites sont couramment utilisés dans diverses industries, notamment l'aérospatiale, l'automobile, la construction, les sports et loisirs, en raison de leur légèreté, de leur résistance et de leur durabilité.

Chapitre II : Matériels et méthodes (les essais mécaniques)

En conclusion des matériaux et des méthodes dans les essais mécaniques :
Les résultats obtenus confirment les propriétés mécaniques souhaitées pour le matériau testé.
Des améliorations peuvent être apportées à la méthode d'essai pour accroître la précision et la fiabilité des mesures.

Les limitations éventuelles des essais doivent être prises en compte lors de l'interprétation des résultats.

Chapitre III : l'expression et l'analyse des résultats.

Chapitre I

Généralité sur Matériaux composites

Introduction :

La recherche de matériaux durables et écologiques est devenue une priorité dans notre société. Dans cette perspective, les fibres végétales et animales sont des matériaux d'intérêt particulier. En raison de leur abondance et de leur renouvelabilité, ces fibres peuvent être utilisées comme alternatives aux matériaux traditionnels. Les matériaux composites qui utilisent ces fibres comme renfort offrent également des avantages tels qu'une meilleure résistance et une plus grande légèreté. Dans ce chapitre, nous allons explorer les fibres végétales et animales, ainsi que les matériaux composites qui en découlent, en examinant leurs propriétés et leurs caractéristiques. Nous nous concentrerons également sur les applications possibles de ces matériaux, en particulier pour les fibres animales. Cette étude permettra de mieux comprendre les avantages et les limites de l'utilisation de ces matériaux dans le but de promouvoir leur développement et leur utilisation durable.

I Fibres végétales**I.1 Définition de la fibre végétale**

Les fibres végétales sont des structures biologiques fibrillaires composées de cellulose, hémicelluloses et de lignine. En proportion relativement faible d'extractibles non azoté, de matière protéique brute, de lipide et de matières minérales. Les proportions de ces constituants dépendent énormément de l'espèce, de l'âge et des organes de la plante [1].

I.2 Autres Etudes**I.2.1 Benmounah Abdelbaki et Bezzazi Boudjema[2]:**

Elaboration, caractérisation mécanique et hydro thermique d'un stratifié renforcé par des fibres naturelles Ce travail a pour objet d'étudier les caractérisations mécaniques en statique, et en fatigue ; ainsi le comportement thermique et hygrothermique de différents stratifiés constitués de fibres naturelles

I.2.2 Beldjoud Nedjmeddine[3]:

Ce travail a pour objet d'étudier l'impact de traitement écologique à base du bicarbonate de sodium sur les propriétés des fibres végétales, Ce travail a pour objet d'étudier la possibilité de traitement écologique à base du bicarbonate de sodium sur les propriétés des fibres végétales et recherche de solutions pour remédier au manque de compatibilité entre les renforts naturels et les matrices polymères.

I.2.3 Djebbloun Youcef[4]:

Contribution à la caractérisation des matériaux composites renforcés de fibres végétales, **valoriser** les rejets agricoles du palmier dattier par leur introduction comme renfort fibreux dans la préparation des composites à matrice polymérique

I.2.4 Dabbari Zahra[5]:

effet de traitement chimique sur la morphologie structural des fibres végétales utilisé dans un matériau composite, Le but est d'étudier l'effet du traitement chimique sur les fibres et leur propriétés par plusieurs méthodes pour développer et caractériser un nouveau matériau composite à base de polyester de iso phtalique renforcé par les fibres de luffa .

I.2.5 Yahiaoui Lamia[6]:

Caractérisation d'un composite à la rupture à base des fibres végétales (Diss), Le but de ce travail est l'élaboration et la caractérisation d'un nouveau matériau composite à matrice cimentaire renforcé par les fibres végétales de Diss.

I.2.6 Derfouf Semcheddine, Chouchane Nacer[7]:

Réalisation d'un nouveau matériau bio composite à base de matrice résine; ce travail intéresse en premier lieu à l'étude structurelle microscopique de fibres de spadice et de life, afin de déduire le mode d'extraction approprié à ces fibres

I.2.7 Mohamed El Hadi BOURAHLI[8]:

Caractérisation d'un composite verre / époxy ce travail pour objectif de contribuer, à différentes échelles, à la caractérisation d'un matériau composite stratifié en polyester renforcé par des fibres de différente nature

I.2.8 Meriem El Boustani[9]:

modification des fibres végétales par un procédé écologique: effets sur la microstructure et la compatibilité avec les matrices polymériques, ce étude présente l'effet de l'acétylation et le greffage de longues chaînes aliphatiques sur la structure et les propriétés des fibres cellulosiques.

I.2.9 Raymond Hajj[10]:

Procèdes De Modification Des Fibres Naturelles (PROMOF), ce travail, les retardateurs de flamme (RF) phosphorés et fluoro-phosphorés ont été greffés par bombardement électronique et par modification chimique sur des tissus de lin afin d'améliorer leur comportement au feu, l'hydrophobicité et l'oléophobe

I.2.10 Negoudi Abdelhakim, Khinech Sayah[11]:

Etude de comportement mécanique des composites bio sources, L'objectif est étudié le comportement mécanique des composites bio sources renforcées par des fibres naturelles

I.3 Classification des fibres végétales

Il existe plusieurs critères de différenciation des fibres :

* Suivant l'organe de la plante dont elles sont issues, les fibres végétales peuvent être classées en fibres de tiges (Kénaf, jute, lin, ramie), et de feuilles (Sisal, abaca, paille degaminée)[12].

* Suivant leur teneur en (cellulose et hémicellulose) et en lignine, on peut distinguer les fibres ligneuses (dures et rigide provenant de matériels ligneux tels que le bois d'oeuvre, les résidus de l'industrie du bois et les fibres non ligneuses (douces, souples, issues de végétaux non ligneux souvent annuels relativement moins riches en lignine tels que le kénaf, le chanvre, le sisal, le jute et le lin) [1].

* Suivant leur longueur, les fibres végétales peuvent être groupés en deux catégories : fibres longues, dites libérienne, provenant des tiges et d'écorce de tiges de plantes annuelles.

Elles sont douces, tandis que les fibres longues issues de feuilles ou de troncs d’arbre sont plus dures et plus rigides à cause de leur richesse en lignine [13] .

I.4 Avantages et inconvénients des fibres végétales

Outre l’avantage direct de réduire l’impact négatif sur l’environnement au stade de la fabrication, un composite renforcé par des fibres naturelles peut également contribuer au respect de l’environnement durant la phase de production en plus de son poids réduit.

- Culture renouvelable
- Culture non polluante : pas de traitements phytosanitaires (herbicides, fongicides),
- Bonne rentabilité économique pour les agriculteurs notamment dans les pays peu industrialisés. Les fibres végétales constituent une alternative intéressante aux fibres de verre en raison de leur recyclabilité. Ces fibres présentent de nombreux avantages comme renfort de matériaux composites. En revanche, certains inconvénients peuvent être un frein au niveau du développement industriel. Les principaux avantages et inconvénients sont rassemblés dans le tableau ci-dessous :

TableauI.1:Avantage et inconvénients des fibres naturels. [14]¹⁴

AVANTAGES	INCONVENIENTS
Faible coût	Absorption d’eau
Biodégradabilité	Faible stabilité dimensionnelle
Neutre pour l’émission de CO2	Mauvaise tenue en vieillissement
Pas d’irritation cutanée lors de la manipulation des fibres	Faible tenue thermique (200 à 230 °C max)
Pas de résidus après incinération.	Fibres anisotropes
Ressource renouvelable	Variation de qualité en fonction du lieude croissance, de la météo
Demande peu d’énergie pour être Produite	Pour des applications industrielles, Demande la gestion d’un stock
Propriétés mécaniques spécifiques Importantes (résistance et rigidité).	Renfort discontinu
Bonne isolation thermique et Acoustique	
Non abrasif pour les outillages	

I.5 Applications des fibres végétales

L'utilisation des matériaux composites s’inscrit dans une démarche d’éco-conception. On note enfin le développement de granulés thermoplastiques renforcés par des fibres naturelles végétales est utilisé dans différents domaines (cosmétique, automobile, horticulture, électroménager, mobilier urbain, outillage…



Figure I.1: Quelques Applications des Fibres Végétales [13]

I.5.1 En automobile

L'utilisation des fibres naturelles dans les matériaux composites est de plus en plus courante, notamment, chez l'équipementier automobile Faurecia, le projet de recherche Nafi (Natural fibre for injection), lancé en 2008, a permis de mettre au point des pièces en composites de lin ou en chanvre avec un gain de masse de 25%. Aussi que Alstom Transport équipera en 2014 ses nouvelles rames TGV de panneaux et de cloisons en lin composite et en 2016 le « nez » des locomotives sera fabriqué à partir du même matériau, avec d'autres éléments extérieurs [15]. Les principales applications sont les suivantes: garnissage des coffres, revêtements pour plancher, revêtement pour paroi intérieure (habillage des toits d'habitacle par la technique de contre collage/compression), revêtement pour avant et arrière, revêtement pour passage de roue, revêtements de garnissage pour plage arrière, habillage de sièges, garnitures, housse, rembourrages en mousse, filtre à huile (pour la transmission), moquette de garnissage des panneaux de portières, capitonnage des panneaux de portières routières et ferroviaires, tableaux de bord (injection de granulés).

Mercedes-Benz à Bayer, utilisait des composites à fibres de lin et de sisal pour les garnitures intérieures des portières de la Mercedes classe

Mégane: Les constructeurs Français présentent la tablette arrière de la Mégane, les panneaux de portes de l'habillage du coffre de la Xantia

AUDI: Dossier de siège, panneaux des portières latérales et arrières, garnitures de coffre, revêtement de roue de secours dans les modèles suivants : A3, A4, A6, A8, A4

BMW: Panneaux de portière, garnitures de pavillon, garnitures de coffre, dossiers de siège dans les modèles suivants: séries 3, 5 et 7

Volkswagen: Panneaux de portières, dossiers de siège, panneau de finition du couvercle du coffre, garnitures de coffre dans les modèles suivants: Golf, Passat, Bora

OPEL GM: Panneaux de pavillon, panneaux de portières, panneau de revêtement des montants, groupe d'instruments, dans les modèles suivants: Vectra, Astra

Ford: Panneaux de portières, montant central, garnitures de coffre dans les modèles suivant Mondeo, Focus, Zafira

I.5.2 En construction

Les fibres végétales sont utilisées comme renfort de matériaux, notamment d'isolation, de produits en ciment.

I.5.3 Autres applications

Les palettes, le mobilier (table de camping Lafuma ou chaise IKEA), et FUTURAMAT, une société Française, produit des pièces techniques en résine thermoplastique renforcée de fibres de bois (ainsi que des matériaux biodégradables à base de farines céréalières). La recherche porte sur la caractérisation des fibres, la capacité à les utiliser à des conditions économiques comme renforts de composites structuraux tels que des hublots d'avion, et les moyens permettant d'améliorer l'interaction entre les fibres et la matrice dans laquelle elles sont noyées[16].



Figure I.2 : Application des composites à base des fibres végétales[14]

Image ci-au-dessus montre quelques utilisations dans le domaine de renforcement des fibres végétales qui est un poids léger exigences, à faible coût, cependant, à son tour, fabrique coupe CO2 De chaque industrie à accorder plus d'attention de matières premières renouvelables. L'utilisation de fibres naturelles.

Il offre la possibilité de remplacer la grande tranche de fibres de verre et des charges minérales est beaucoup plus faible coût

Les panneaux de porte sont fabriqués, et les sièges arrière (flèche dans le tableau se réfère à lui), des colonnes, des plateaux et des conteneurs, des armoires de commande, des tuyaux en polyester Thermoplastique renforcée par des fibres ou d'une résine thermoplastique.

I.6 Traitements des fibres végétale

Il existe de nombreuses techniques afin de rendre compatible les fibres et les polymères, permettant ainsi la mise en place de liaisons chimiques au niveau de l'interface. Ces diverses techniques peuvent être divisées en deux catégories : les méthodes de modification physique set les méthodes chimiques. Le but de ces modifications est l'amélioration de l'adhésion par la création de liaisons. La surface est donc élément important de l'adhésion et subit les modifications [1]. Ces modifications sont pour objectif de :

- Créer des liaisons fortes entre la fibre et la matrice
- Abaisser le caractère hydrophile des fibres végétales

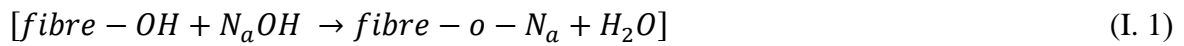
I.6.1 Traitement alcalin

Le traitement alcalin est la méthode couramment employée pour produire des fibres de haute qualité et ce par l'élimination d'une certaine quantité de lignine, des pectines, de cires et d'huiles naturelles couvrant la surface externe de la paroi cellulaire des fibres [12].

Ceci entraîne ainsi la fibrillation du faisceau de fibres et donne une topographie de surface rugueuse à la fibre.

En d'autres termes, le traitement alcalin réduit le diamètre des fibres et augmente ainsi le facteur de forme (L/d). Par conséquent, on assiste à une meilleure adhésion à l'interface fibre-matrice et à une amélioration des propriétés mécaniques. Par l'élimination des impureté set de certains composés cimentaires, la quantité de la cellulose exposée à la surface sera plus importante, ce qui accroît le nombre de sites de réaction possibles ainsi que leur accessibilité [13].

Le traitement des fibres naturelles par une solution aqueuse de soude favorise la réaction suivante :



Le mercerisage influe sur la composition chimique des fibres, le degré de polymérisation et l'orientation moléculaire des cristallites de cellulose en raison de l'élimination de la lignine et de l'hémicellulose. Il conduit également à une augmentation de la quantité de la cellulose amorphe au détriment de la cellulose cristalline et la destruction des liaisons hydrogènes dans la structure du réseau [13]

En effet, l'alcali fait gonfler les fibres au cours de cette réaction, la structure cristalline naturelle de la cellulose entre en relaxation et la structure moléculaire de la cellulose-I change de formes polymorphes pour donner essentiellement la cellulose-alcaline et la cellulose-II [17].

La nature de la base (KOH, LiOH, NaOH) et sa concentration influencera le degré dégonflement ainsi que le degré de transformation en cellulose II [17]. Toutes ces modifications sont un effet permanent sur le comportement mécanique des fibres et en particulier sur leur résistance et leur [13]. La présence de sites réactifs dégagés et le gonflement des fibrilles sont des facteurs favorables à la réticulation de la résine à l'intérieur de la [15]. Le mercerisage augmente également la mouillabilité des fibres [18] et doit être réalisé à des concentrations et des températures modérées [19].

I.6.2 -Fibre animaux



Figure I.3 : Sources de fibres animales[20]

Les fibres animales sont également utilisées dans la fabrication de matériaux composites en raison de leur résistance et de leur durabilité. Les fibres animales les plus courantes sont la laine, la soie et les poils d'animaux tels que les chèvres, les moutons et les lapins.

La laine est utilisée depuis longtemps dans la fabrication de vêtements et d'articles de maison tels que les tapis. Elle est également utilisée dans la production de matériaux composites pour l'industrie automobile et aérospatiale. La soie est une fibre animale hautement appréciée pour sa résistance et sa légèreté. Elle est utilisée dans la production de textiles de haute qualité et de matériaux composites pour les applications aérospatiales.

Les poils d'animaux sont souvent utilisés pour la fabrication de brosses et de peignes, mais peuvent également être incorporés dans des matériaux composites pour renforcer leur résistance et leur durabilité. Cependant, l'utilisation de fibres animales soulève des préoccupations en matière de bien-être animal et nécessite des pratiques de production éthiques pour garantir une utilisation durable de ces matériaux[21] .

I.7 Matériaux composites

Les fibres animales ont également été utilisées comme renfort dans les matériaux composites. Ces fibres ont des propriétés uniques telles que leur résistance à la traction, leur faible poids et leur résistance à la chaleur. Les fibres animales les plus couramment utilisées dans les composites sont les fibres de soie, de laine, de cachemire et de poils d'animaux tels que les chameaux et les yacks. Les composites à base de fibres animales ont été utilisés dans diverses applications, notamment dans la fabrication d'isolants, de tissus et d'articles de sport. Cependant, leur utilisation est limitée par la disponibilité de ces fibres et par les défis liés à la fabrication et à la durabilité de ces composites. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour améliorer la compréhension des propriétés des fibres animales et leur utilisation dans les composites[22] .

I.8 Applications de fibre animale :

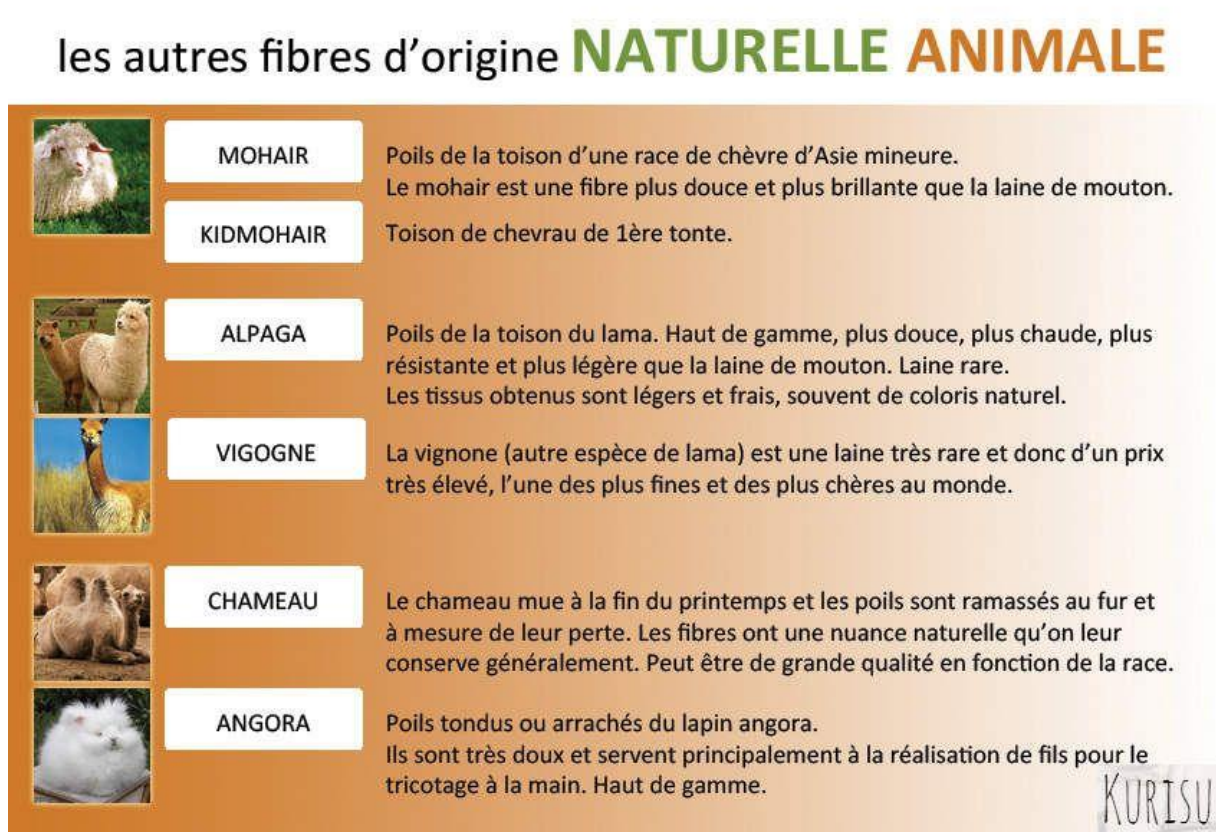


Figure I.4 : les autres fibres d'origine NATURELLE ANIMALE^[23]

Les fibres animales ont été utilisées dans diverses applications industrielles en raison de leurs propriétés mécaniques et thermiques uniques. Les fibres de laine, par exemple, ont été utilisées comme matériau d'isolation thermique pour les bâtiments, les tapis et les vêtements. Les fibres de soie ont été utilisées dans la fabrication de textiles de haute qualité pour les vêtements de luxe, tandis que les poils d'animaux ont été utilisés comme matériau de remplissage pour les coussins et les matelas. Les fibres animales ont également été utilisées dans la fabrication d'articles de sport tels que les raquettes de tennis, les bâtons de hockey et les casques de protection. Cependant, l'utilisation de fibres animales dans certaines applications peut poser des problèmes de durabilité et d'impact environnemental. Il est donc important de continuer à explorer de nouvelles applications pour les fibres animales tout en considérant leur durabilité et leur impact environnemental^[24].

Industrie textile : Les fibres animales sont utilisées dans la production de tissus et de vêtements haut de gamme. Par exemple, la laine est utilisée dans la production de costumes, de manteaux et d'autres vêtements de qualité supérieure.

Industrie automobile : Les fibres animales sont utilisées dans l'industrie automobile pour la fabrication de sièges de voiture, de garnitures intérieures et d'autres composants de haute qualité.

Industrie aérospatiale : Les fibres animales sont également utilisées dans l'industrie aérospatiale pour la fabrication de composants légers et résistants pour les avions et les navettes spatiales.

Applications médicales : Les fibres animales ont également des applications médicales, notamment dans la fabrication de sutures chirurgicales.

Applications domestiques : Les fibres animales sont utilisées dans la production de tapis, de couvertures et de tissus d'ameublement [25].

I.9 Conclusion :

D'un point de vue historique, l'utilisation des végétaux a toujours existé, comme par exemple dans la construction ou bien dans le textile. C'est pour cela que les fibres végétales ont commencé à faire leur apparition en remplacement des fibres de verre afin de fabriquer des matériaux composites plus respectueux de l'environnement.

Les fibres végétales se démarquent des fibres de verre par leurs propriétés mécaniques spécifiques élevées grâce à une faible densité, qui induira lors d'applications structurales un gain de masse se traduisant par une économie d'énergie. De plus, les fibres végétales ont aussi l'avantage d'être bio-sources et certaines sont disponibles annuellement.

Chapitre II
Matériels et méthodes
(Les essais mécaniques)

Introduction

L'utilisation de matériaux composites à base de fibres naturelles est en constante augmentation dans différents domaines industriels, notamment l'automobile, l'aéronautique, le bâtiment, etc. Ces matériaux offrent des avantages environnementaux et économiques par rapport aux matériaux traditionnels à base de polymères synthétiques. Cependant, pour une utilisation optimale de ces matériaux, il est essentiel de caractériser les propriétés physiques des fibres naturelles qui les composent. Les essais mécaniques sont des outils précieux pour cette caractérisation, car ils permettent de mesurer les performances mécaniques des fibres naturelles sous différentes conditions. Dans ce chapitre, nous allons passer en revue les différentes techniques d'essai mécanique utilisées pour caractériser les fibres naturelles, telles que l'essai de traction, l'essai de flexion, l'essai de compression et l'essai d'impact. Nous examinerons également les essais thermiques et de conductivité thermique pour évaluer les propriétés thermiques des fibres naturelles. En combinant ces résultats avec une analyse microscopique et chimique, nous pourrions mieux comprendre les mécanismes de renforcement des fibres naturelles et optimiser leur utilisation dans les composites.

I.1 Essai d'absorption d'eau

L'essai d'absorption d'eau est une méthode courante pour évaluer la capacité des fibres naturelles à absorber et à retenir l'eau. Cette propriété est importante car elle peut avoir une incidence sur l'utilisation des fibres naturelles dans différentes applications industrielles telles que les emballages, les textiles, les matériaux de construction, etc. Les résultats de l'essai d'absorption d'eau peuvent également aider à évaluer la résistance à l'humidité des fibres naturelles, ce qui est un facteur important pour leur durabilité dans des environnements humides. Dans une étude récente menée par Y. (2022), l'absorption d'eau et la résistance à l'humidité de différentes fibres naturelles ont été évaluées. Les résultats ont montré que les fibres naturelles telles que le lin et le chanvre ont une faible absorption d'eau et une bonne résistance à l'humidité, tandis que d'autres fibres comme le jute et le sisal ont une absorption d'eau plus élevée et une résistance à l'humidité inférieure. Ces résultats peuvent aider à orienter l'utilisation des fibres naturelles dans des applications spécifiques où une résistance à l'humidité élevée est nécessaire[26]

L'absorption d'eau entraîne un gonflement de la fibre. Les fibres naturelles ont tendance à absorber l'eau en raison de leur composition chimique riche en cellulose, hydrophile par nature. L'absorption d'eau des fibres naturelles a plus de chances d'augmenter avec l'augmentation de la teneur en cellulose de la fibre en raison de l'augmentation du nombre de groupes hydroxyles libres existant dans la fibre. Si l'on observe de près, il est clair que les compositions chimiques des quatre fibres (qui ont été présentées dans le sont plus ou moins riches en cellulose, avec également d'autres composants dans leur structure. Le coton est une fibre de graine appartenant au genre *Gossypium*. Le coton peut absorber l'eau jusqu'à 24 - 27 fois son propre poids. La fibre est presque pure cellulose et est le plus souvent filée en fil ou en fil et utilisée pour fabriquer un textile doux et respirant. L'huile, la cire, les protéines, la pectine et certains colorants sont également présents dans le coton. La teneur en humidité standard de cette fibre est de 7,34 %. Dans l'ensemble, l'absorption d'eau des fibres naturelles est un processus complexe influencé par divers facteurs, y compris la composition chimique et la structure, qui peuvent avoir des implications pour leur adaptation à différentes applications industrielles.

Tableau I.11.1: Composition chimique de la fibre de coton, de la fibre d'arec, du PALF et de la fibre de banane[27]

"Bourahli, M. E. H. (2018). Caractérisation d'un composite verre époxy."

<i>Composants (%)</i>	<i>Fibres</i>	<i>Coton</i>	<i>Areca</i>	<i>PALF</i>	<i>BANANE</i>
<i>Cellulose</i>		80-94	53.20	67-81	65.112
<i>Hémicellulose</i>		-	32.98	9-19	17.325
<i>Lignine</i>		-	07.20	4-15	08.018
<i>Huile et cire</i>		0.5-0.1	00.64	3-4	02.502
<i>Cendre</i>		0-1	01.05	0.9-3	-
<i>Pectine</i>		0-1.5	-	1-3	02.124
<i>Matières minérales et autres</i>		1-1.5	03.12	-	04.919

La variété tropicale d'ananas est un membre de la famille des Broméliacées. La qualité de l'ananas utilisé pour l'extraction des fibres est différente de celle cultivée pour la consommation. La fibre extraite est blanche, crémeuse et brillante comme la soie, et dix fois plus grossière que le coton mais aussi fine que le jute, avec des filaments bien séparés. L'extraction des fibres d'ananas peut être effectuée manuellement ou mécaniquement. PALF contient une forte teneur en cellulose, une grande quantité d'hémicellulose et également un peu de lignine[28]. La teneur en humidité de cette fibre est de 10 % à 11 %.

La fibre de banane, une fibre de bast naturelle ligno cellulosique, est obtenue à partir du pseudo stem de la plante de banane appartenant au genre *Musa*. Son aspect physique est similaire à celui de la fibre de ramie. Elle est principalement composée de cellulose, d'hémicelluloses, de lignine, etc[29]. La teneur en humidité de cette fibre est de 10 % à 11,5 %.

I.2 Les essais mécaniques

Les essais mécaniques sont couramment utilisés pour évaluer les propriétés mécaniques des fibres naturelles, telles que la résistance à la traction, la flexion et la dureté. Ces essais sont importants pour comprendre comment les fibres se comportent dans différentes conditions et environnements de traitement. Les fibres naturelles sont des matériaux complexes, qui peuvent varier considérablement en termes de composition chimique et de structure, ce qui peut influencer leurs propriétés mécaniques. Plusieurs études ont été menées sur les propriétés mécaniques des fibres naturelles, notamment le coton, le lin, la jute et la

chanvre. Le tableau 3 présente les propriétés mécaniques du matériau composite jute/banane, qui ont été évaluées à l'aide d'essais de traction, de flexion et d'impact. Ces essais sont couramment utilisés pour comprendre le comportement des fibres naturelles, qui sont des matériaux complexes et peuvent varier considérablement en termes de composition chimique et de structure.

Tableau I.2.2 : Propriétés mécaniques du matériau composite jute/banane.

Rapport poids jute/banana	Résistance à la traction (Mpa)	Résistance à la flexion (Mpa)	Résistance aux chocs (kj/m ²)
100/0	16.62	57.22	13.44
75/25	17.89	58.6	15.81
50/50	18.96	59.84	18.23
25/75	18.25	59.3	17.89
0/100	17.92	58.06	16.92

Les essais mécaniques sont généralement effectués sur des échantillons de fibres prélevés à partir de différents endroits de la plante, tels que les tiges, les feuilles ou les graines. Les méthodes d'essai les plus courantes comprennent les essais de traction, de flexion, de dureté et de compression. Les résultats des essais mécaniques peuvent fournir des informations précieuses sur les propriétés mécaniques des fibres naturelles, telles que leur résistance à la rupture, leur flexibilité et leur résistance aux chocs[30] .

L'intérêt pour les matériaux composites à base de fibres naturelles renforcées est en constante augmentation, tant en termes d'applications industrielles que de recherche fondamentale. Ils sont renouvelables, bon marché, totalement ou partiellement recyclables et biodégradables. Les plantes, telles que le lin, le coton, le chanvre, le jute, le sisal, le kenaf, l'ananas, la ramie, le bambou, la banane, etc., ainsi que le bois, utilisé depuis la nuit des temps comme source de fibres lingo-cellulosiques, sont de plus en plus souvent utilisés comme renforts de composites. Leur disponibilité, leur renouvelabilité, leur faible densité et leur prix, ainsi que leurs propriétés mécaniques satisfaisantes, en font une alternative écologique attrayante aux fibres de verre, de carbone et artificielles utilisées pour la fabrication de composites, comme le montrent.



Figure I.2.1: Abaca, jute et sisal

La fibre d'abaca (ou chanvre de Manille) est une sorte de fibre naturelle forte produite principalement aux Philippines, issue de la feuille d'une plante de la famille des Musa, similaire à l'arbre à bananes mais avec un fruit non comestible. Il a été rapporté que la fibre d'abaca a une haute résistance à la traction, est résistante à la pourriture et a une résistance à la flexion spécifique comparable à celle de la fibre de verre[31]. Ainsi, elle a été largement utilisée comme matière première pour les cordes, les sacs et le papier. Ces dernières années, l'application de la fibre d'abaca a été étendue à l'industrie automobile comme le fabricant de Mercedes-Benz, Daimler Chrysler. Il est également rapporté que la fibre d'abaca est la première fibre naturelle à répondre aux exigences de qualité strictes pour les composants extérieurs des véhicules routiers, avec une bonne résistance aux impacts de pierres, à l'exposition aux éléments et à l'humidité. Par conséquent, l'obtention de fibres d'abaca de haute qualité est essentielle pour l'application industrielle de cette fibre tropicale. Il est bien connu que la microstructure des matériaux influence leurs propriétés. Les chercheurs améliorent souvent les propriétés mécaniques en modifiant la microstructure. Il existe de nombreuses études sur les propriétés mécaniques des fibres naturelles ainsi que de leurs composites à haute résistance dérivés du traitement chimique ou physique de la fibre elle-même et/ou de la matrice. Peu de travaux ont été réalisés sur l'effet de FHFS sur la structure d'origine des fibres naturelles et, à leur tour, sur leurs propriétés. En raison de la dépendance de la structure de la fibre naturelle des conditions de croissance de la fibre, il est possible d'obtenir des fibres naturelles avec des propriétés désirées en sélectionnant les fibres de différentes positions de la plante. Pour atteindre cet objectif, les propriétés de traction et les propriétés physico-chimiques de la fibre d'abaca ainsi que de ses composites seront étudiées par fragments successifs

I.3 Essai de traction

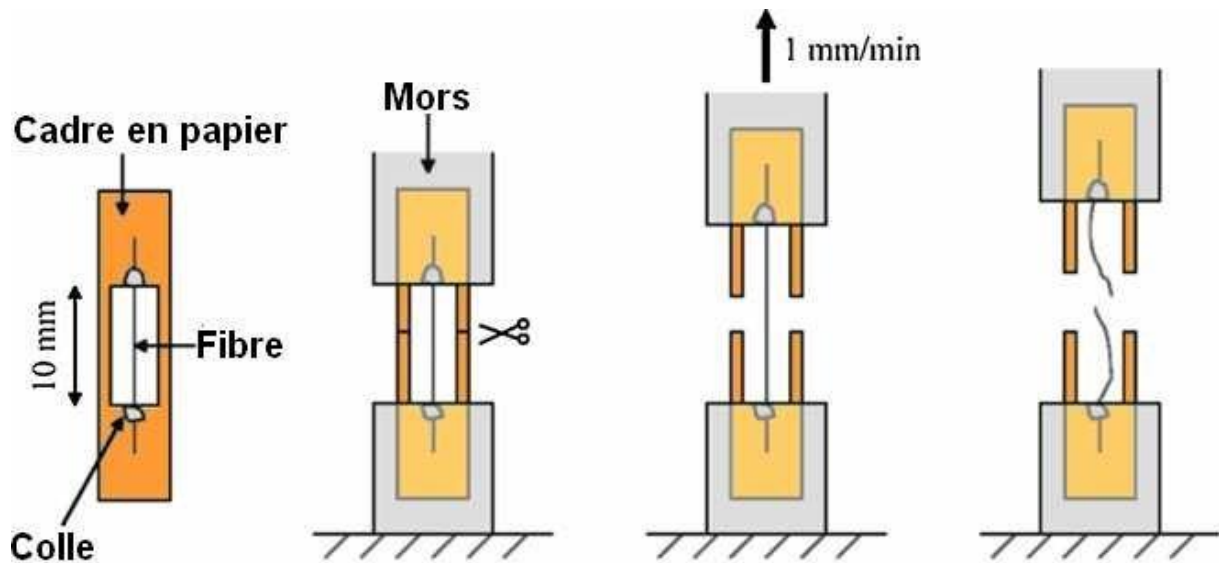


Figure I.3.2 : Schéma d'un essai de traction sur une fibre élémentaire de lin[32]

Les étapes générales du test de traction des fibres naturelles sont similaires à celles des fibres optiques, bien que les procédures spécifiques puissent varier en fonction du type de fibre naturelle testée. Voici les étapes générales :

Préparation de l'échantillon : Tout d'abord, un échantillon de la fibre naturelle est préparé pour le test de traction. Cela peut inclure le nettoyage de l'échantillon pour éliminer la saleté, les contaminants ou les impuretés qui pourraient affecter les résultats du test. L'échantillon est généralement coupé en une longueur appropriée et éventuellement conditionné dans des conditions contrôlées d'humidité et de température, selon les spécifications de test.

Montage de l'échantillon : L'échantillon de fibre naturelle est ensuite monté dans la machine de traction. Il est fixé à l'aide de dispositifs de serrage appropriés pour garantir qu'il ne se détache pas pendant le test. Le montage peut varier en fonction du type de fibre naturelle et de son état physique (par exemple, si elle est sous forme de filament, de ruban, de tissu, etc.).

Réglage des paramètres de test : Les paramètres de test sont configurés sur la machine de traction en fonction des spécifications de test requises. Cela peut inclure la vitesse de traction, la charge appliquée, la durée du test, etc. Les paramètres de test peuvent également être ajustés en fonction des propriétés spécifiques de la fibre naturelle, comme sa résistance intrinsèque, son élasticité, etc.

Test de traction : Une fois que l'échantillon est correctement monté et que les paramètres de test sont configurés, le test de traction est effectué. La machine de traction applique une

force de traction progressive sur l'échantillon jusqu'à ce qu'il se rompe. Pendant le test, des données sont collectées, telles que la charge appliquée, la déformation de l'échantillon et le temps de rupture.

Analyse des résultats : Les données collectées pendant le test de traction sont analysées pour obtenir des résultats significatifs. Cela peut inclure des mesures telles que la résistance à la traction, la déformation, le module d'élasticité, etc. Ces résultats peuvent être comparés aux spécifications de performance requises pour déterminer si l'échantillon de fibre naturelle satisfait aux normes de qualité.

Il est important de noter que les étapes de test de traction des fibres naturelles peuvent varier en fonction du type de fibre naturelle testée, par exemple la soie, le coton, le lin, la laine, etc

Les essais de traction de fibres naturelles sont des méthodes utilisées pour évaluer la résistance mécanique de ces matériaux. Ces tests impliquent l'application d'une force de traction uniaxiale à une extrémité d'un échantillon de fibre naturelle afin de mesurer sa capacité à résister à la charge et à s'étirer avant de se rompre. Les données obtenues à partir de ces tests de traction peuvent être utilisées pour déterminer les propriétés mécaniques des fibres naturelles telles que la résistance à la traction, la limite d'élasticité, la ténacité et la ductilité. Les essais de traction sont essentiels pour comprendre comment les fibres naturelles peuvent être utilisées dans des applications industrielles, telles que la production de matériaux composites renforcés de fibres naturelles, et pour évaluer les performances de ces matériaux dans diverses conditions de charge. Les résultats des essais de traction peuvent également être utilisés pour améliorer les méthodes de production de fibres naturelles en identifiant les facteurs qui influencent la qualité et les propriétés des fibres.

J. K. Gahloth, S. K. Khare et S. K. Sharma, intitulé "Tensile Testing of Natural Fibers"[33], est une étude qui vise à évaluer les propriétés mécaniques des fibres naturelles telles que le coton, le lin, le chanvre et la jute à travers des essais de traction.

Les auteurs ont réalisé des essais de traction sur des échantillons de ces fibres naturelles en utilisant un appareil de traction. Les échantillons ont été préparés de manière standardisée et les conditions d'essai ont été rigoureusement contrôlées pour assurer la précision et la reproductibilité des résultats.

Les résultats de l'étude ont montré que la résistance à la rupture et l'allongement à la rupture des fibres variaient en fonction de la variété de la fibre naturelle. Par exemple, le coton avait la plus grande résistance à la rupture et le lin avait le plus grand allongement à la

rupture. Les résultats ont également montré que les propriétés mécaniques des fibres étaient influencées par la préparation de l'échantillon et les conditions d'essai.

Les auteurs ont discuté des implications de ces résultats pour l'utilisation des fibres naturelles dans des applications telles que la fabrication de textiles, de cordes et de matériaux composites. Ils ont souligné l'importance de choisir la fibre naturelle appropriée en fonction des propriétés mécaniques requises pour l'application spécifique.

Le test de J. K. Gahloth, S. K. Khare et S. K. Sharma a permis d'évaluer les propriétés mécaniques des fibres naturelles à travers des essais de traction standardisés. Les résultats ont montré que les propriétés mécaniques variaient en fonction de la variété de la fibre naturelle et que ces propriétés étaient influencées par la préparation de l'échantillon et les conditions d'essai. Ces résultats peuvent être utiles pour la sélection et l'utilisation appropriées des fibres naturelles dans diverses applications.

Les caractéristiques mécaniques déterminées par l'essai de traction sont

•Module d'élasticité :

C'est le rapport entre la contrainte de traction appliquée sur le matériau et la déformation élastique résultante. Le module d'élasticité permet de quantifier la rigidité d'un matériau et de prédire son comportement sous l'effet d'une charge. Il s'exprime comme par la relation.

$$E = \sigma / \varepsilon \quad (\text{II.1})$$

Avec :

E : est le module d'élasticité (MPa) ;

σ : est la contrainte de traction (N/m²);

ε : est la déformation correspondante (%).

•La contrainte de la rupture :

C'est la charge de traction supportée par l'éprouvette avant sa rupture, exprimée en unité de force pour une unité de surface. Elle est donnée par la relation (II.2).

$$\sigma_r = F/S \quad (\text{II.2})$$

Avec :

F : Force de traction (N) ;

S : Section rompue (mm²) ;

σ_r : Contrainte de rupture (GPa) ;

•Le module d'Young :

C'est une mesure de la rigidité d'un matériau et permet de déterminer la résistance à la flexion d'un matériau et de caractériser sa rigidité dans diverses applications. Il est le facteur de proportionnalité entre la contrainte et la déformation Est représenter dans l'équation (II.3).

$$E : \sigma / \varepsilon = F \cdot L_0 / S \cdot \Delta L \quad (\text{II.3})$$

Avec :

E : Module d'Young (MPa).

L₀ : Distance entre mords (mm).

S : Surface ou section (mm²).

ε : La déformation de la longueur des éprouvettes $\varepsilon = \Delta L / L_0$.

ΔL: L'allongement des éprouvettes (mm).

• Allongement à la rupture:

Il s'agit de la variation relative de la longueur initiale d'un échantillon de matériau lorsqu'il se rompt sous une contrainte de traction maximale exprimée en pourcentage comme illustrée dans L'équation (II .4).

$$\varepsilon r = \Delta l / l_0 (\%) \quad (\text{II.4})$$

Avec :

Δl = l – l₀: Allongement à la rupture;

l₀ : Longueur initiale de l'éprouvette ;

l : Longueur finale de l'éprouvette ;

I.4 Essai de flexion

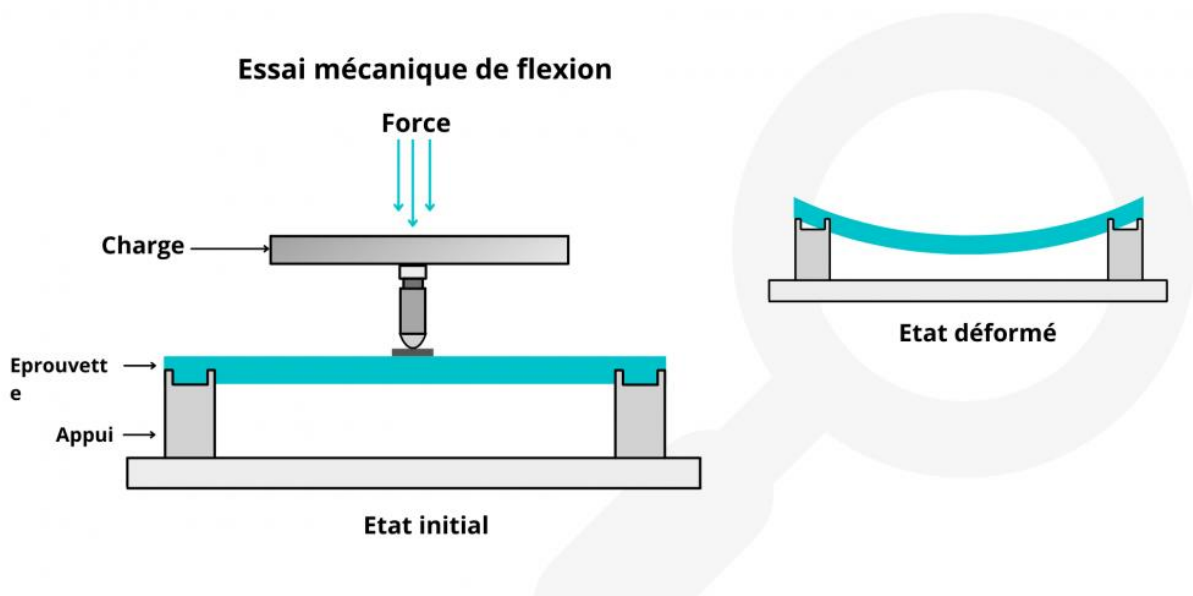


Figure I.4.3 : Essai de flexion

Étapes de l'essai de flexion des fibres naturelles :

1. Préparation des échantillons : Les échantillons de fibres naturelles sont préparés selon les normes ASTM D638-14a (ou équivalent) en coupant les fibres en segments de taille spécifiée, généralement de 25 à 50 mm de longueur, et en les conditionnant à une humidité relative et à une température standard pendant au moins 24 heures[34] .
2. Configuration de l'appareil d'essai : L'appareil d'essai de flexion est configuré conformément aux normes ASTM D790-17 (ou équivalent) en fixant les échantillons de fibres naturelles sur les supports appropriés et en ajustant les paramètres de l'appareil, tels que la vitesse de déformation et la portée de mesure[35] .
3. Réalisation de l'essai de flexion : Les échantillons de fibres naturelles sont soumis à un chargement de flexion jusqu'à la rupture à une vitesse de déformation constante, généralement de l'ordre de 1 à 5 mm/min, en enregistrant la courbe de charge-déformation tout au long du test. Les données sont collectées et analysées pour obtenir les propriétés mécaniques, telles que la résistance à la flexion, la déformation à la rupture, le module de flexion, etc][35].
4. Analyse des résultats : Les résultats de l'essai de flexion sont analysés statistiquement pour obtenir des valeurs moyennes, des écarts types, des graphiques de courbes de charge-déformation, etc. Les propriétés mécaniques obtenues sont interprétées pour évaluer les caractéristiques de flexion des fibres naturelles, telles que leur résistance, leur ductilité, leur fragilité, etc.

L'essai de flexion est une méthode importante pour évaluer la résistance des matériaux composites à la rupture sous des charges de flexion. Cela est particulièrement vrai pour les matériaux composites fabriqués à partir de fibres naturelles telles que le chanvre, le jute, le lin et le sisal, qui sont de plus en plus utilisées dans les applications industrielles. Les propriétés mécaniques des fibres naturelles peuvent être influencées par de nombreux facteurs, notamment la variété de la plante, la composition chimique, la structure de la fibre, le traitement de surface et les conditions d'essai. Les essais de flexion des fibres naturelles traitées à l'alcali ont montré une amélioration significative de leur résistance à la flexion par rapport aux fibres non traitées. Par conséquent, le traitement à l'alcali des fibres naturelles est une méthode efficace pour améliorer la résistance à la flexion des fibres et, par conséquent, la résistance à la flexion des matériaux composites. La résistance à la flexion est une propriété importante pour les matériaux composites, car les contraintes de flexion peuvent être importantes dans de nombreuses applications, telles que la construction, l'aérospatiale et l'automobile.

Les résultats de l'essai ont montré que le traitement à l'alcali avait amélioré la résistance à la flexion des fibres naturelles. Par exemple, les fibres de jute traitées à l'alcali ont montré une amélioration significative de leur résistance à la flexion par rapport aux fibres non traitées. Ils ont également noté que les propriétés mécaniques des fibres naturelles étaient influencées par la variété de la plante, la composition chimique, la structure de la fibre, le traitement de surface et les conditions d'essai.

Les flexions peuvent être importantes dans de nombreuses applications, telles que la construction, l'aérospatiale et l'automobile. Les auteurs ont conclu que le traitement à l'alcali des fibres naturelles était une méthode efficace pour améliorer la résistance à la flexion des fibres et, par conséquent, la résistance à la flexion des matériaux composites.

Les propriétés mécaniques des fibres naturelles traitées à l'alcali et de leurs composites, en mettant particulièrement l'accent sur la résistance à la flexion. Les résultats ont montré que le traitement à l'alcali améliorait la résistance à la flexion des fibres naturelles et que la résistance à la flexion était une propriété importante pour les matériaux composites.

I.5 Essai de la dureté

L'essai de la dureté des fibres naturelles est une méthode qui permet de mesurer la résistance d'une fibre à la déformation permanente. La dureté est une mesure de la résistance d'un matériau à la pénétration ou à l'indentation. Plus la dureté d'un matériau est élevée, plus il est difficile de le pénétrer ou de l'indenter.

Kalia, Kaith et Kaur (2009) est une revue qui traite de l'utilisation des fibres naturelles comme renfort dans les composites polymères. Les auteurs passent en revue les différentes méthodes de prétraitement des fibres naturelles, telles que le traitement alcalin, l'acétylation et la modification silane, et examinent leur impact sur les propriétés des composites. L'article discute également des différents tests utilisés pour évaluer les propriétés des fibres naturelles et des composites, tels que l'essai de traction, l'essai de flexion et l'essai de la dureté. Les auteurs concluent que les fibres naturelles présentent un grand potentiel en tant que renfort dans les composites polymères, mais que leur efficacité dépend des traitements appliqués. En outre, les auteurs soulignent la nécessité de poursuivre les recherches pour améliorer la résistance des fibres naturelles aux environnements agressifs[36].

Préparation des échantillons de fibres naturelles, en coupant des échantillons de dimensions spécifiques.

Placer l'échantillon sur une surface plane et dure, telle qu'une plaque en acier.

Appliquer une charge sur l'échantillon à l'aide d'un pénétrateur, qui peut être une sphère ou un cône.

Mesurer la profondeur de la marque laissée sur l'échantillon par le pénétrateur, en utilisant un microscope ou un comparateur de mesure.

Calculer la dureté de l'échantillon en divisant la charge appliquée par la surface de la marque laissée sur l'échantillon.

Il est important de suivre des protocoles stricts pour assurer la reproductibilité des résultats. Les paramètres clés comprennent la force d'application, le type et la taille du pénétrateur, ainsi que la durée de l'application de la charge [36]

I.6 Essai de compression



Figure I.6.4 : Une machine renforcée et un capteur de force de capacité élevée.

Étapes de l'essai de compression des fibres naturelles :

1. Préparation des échantillons : Les échantillons de fibres naturelles sont préparés en coupant les fibres en segments de taille spécifiée, généralement de forme cylindrique ou rectangulaire, et en les conditionnant à une humidité relative et à une température standard pendant au moins 24 heures,
2. Configuration de l'appareil d'essai : L'appareil d'essai de compression est configuré selon les normes ASTM D695-15 (ou équivalent) en plaçant les échantillons de fibres naturelles entre les plaques de compression de l'appareil et en ajustant les paramètres, tels que la vitesse de déformation et la portée de mesure[37] .
3. Réalisation de l'essai de compression : Les échantillons de fibres naturelles sont soumis à une compression jusqu'à la rupture à une vitesse de déformation constante, généralement de l'ordre de 1 à 5 mm/min, en enregistrant la courbe de charge-déformation tout au long du test. Les données sont collectées et analysées pour obtenir les propriétés mécaniques, telles que la résistance à la compression, la déformation à la rupture, le module de compression, etc]37[.

4. Analyse des résultats : Les résultats de l'essai de compression sont analysés statistiquement pour obtenir des valeurs moyennes, des écarts types, des graphiques de courbes de charge-déformation, etc. Les propriétés mécaniques obtenues sont interprétées pour évaluer les caractéristiques de compression des fibres naturelles, telles que leur résistance, leur comportement en compression, leur capacité à absorber l'énergie, etc.

L'essai de compression de fibre naturelle est un test qui mesure la capacité d'une fibre naturelle à résister à une charge appliquée dans une direction perpendiculaire à l'axe de la fibre. Ce test est réalisé en comprimant la fibre entre deux plaques parallèles à une vitesse constante jusqu'à ce qu'elle se brise. L'essai de compression peut être utilisé pour évaluer la résistance mécanique des fibres naturelles et leur capacité à résister à des charges dans des applications telles que la construction ou les matériaux de renforcement. Les résultats de l'essai de compression peuvent être utilisés pour déterminer la résistance à la compression, la densité et la rigidité de la fibre. En général, les fibres naturelles ont une résistance à la compression plus faible que les fibres synthétiques, mais peuvent avoir des avantages en termes de durabilité, de faible impact environnemental et de coût[38] .

I.7 Mesure de l'impact

Les étapes pour mesurer l'impact des fibres naturelles[39] :

Définir les objectifs spécifiques : Identifiez clairement les objectifs de mesure de l'impact des fibres naturelles. Par exemple, il peut s'agir de mesurer l'empreinte carbone, la consommation d'eau, la biodégradabilité, la durabilité des ressources, la performance technique, l'acceptation sociale, etc. Assurez-vous que les objectifs sont bien définis, réalistes, mesurables et alignés sur les priorités de durabilité de votre entreprise ou de votre projet.

Sélectionner les indicateurs pertinents : Choisissez les indicateurs appropriés en fonction des objectifs spécifiques définis. Par exemple, pour mesurer l'empreinte carbone, vous pouvez utiliser l'analyse du cycle de vie (ACV) pour quantifier les émissions de gaz à effet de serre tout au long du cycle de vie du produit, de la production à l'élimination. Pour mesurer la biodégradabilité, vous pouvez réaliser des tests en laboratoire pour évaluer la dégradation des fibres naturelles dans des conditions spécifiques. Sélectionnez les indicateurs les plus pertinents et scientifiquement valides pour obtenir des résultats fiables.

Collecter les données nécessaires : Collectez les données nécessaires pour mesurer les indicateurs choisis. Cela peut inclure la collecte de données primaires (par exemple, mesures sur site, enquêtes) ou de données secondaires (par exemple, données publiées, rapports de

durabilité). Assurez-vous que les données sont fiables, représentatives et suffisamment complètes pour permettre une évaluation précise de l'impact des fibres naturelles.

Analyser les données : Analysez les données collectées en utilisant des méthodes d'analyse appropriées en fonction des indicateurs choisis. Cela peut inclure des calculs, des modélisations, des comparaisons avec des références ou des normes, etc. Assurez-vous d'utiliser des méthodes d'analyse rigoureuses pour obtenir des résultats fiables et valides.

Interpréter les résultats : Interprétez les résultats de l'analyse pour comprendre l'impact des fibres naturelles. Analysez les tendances, les écarts par rapport aux objectifs fixés, les conclusions clés et les implications pour la durabilité des fibres naturelles. Identifiez les forces et les faiblesses des fibres naturelles en fonction des résultats obtenus.

Communiquer les résultats : Présentez les résultats de manière claire, transparente et compréhensible pour informer les parties prenantes pertinentes. Utilisez des rapports écrits, des présentations visuelles, des graphiques, des infographies, etc. pour communiquer efficacement les résultats de la mesure de l'impact des fibres naturelles. Mettez en évidence les conclusions clés, les implications et les mesures d'amélioration potentielles.

Prendre des mesures d'amélioration : Utilisez les résultats de la mesure de l'impact des fibres naturelles pour identifier les domaines d'amélioration potentiels et mettre en place des actions concrètes pour améliorer l'impact global.

L'essai de mesure de l'impact des fibres naturelles effectué en utilisant une machine de test de chute d'impact, qui laisse tomber une masse sur l'échantillon composite depuis une hauteur déterminée. Pendant l'impact, une cellule de charge enregistre la force maximale subie par l'échantillon, qui peut être utilisée pour calculer l'énergie d'impact et la déformation de l'échantillon. Le test peut être réalisé sur des échantillons de différentes tailles et formes, selon les spécifications de l'application. Les résultats de l'essai de mesure de l'impact peuvent être comparés à ceux d'autres matériaux composites pour évaluer la résistance relative du matériau à l'impact [40].

I.8 Essais thermiques

- Collecte d'échantillons :

Collecter des échantillons de fibres naturelles à tester, tels que du coton biologique.

- Préparation des échantillons :

Préparer les échantillons en les coupant en petites tailles pour les tests thermiques.

- Thermogravimétrie (TGA) :

Chauffer les échantillons à différentes températures tout en mesurant leur perte de poids à l'aide de la TGA.

Analyser les résultats pour déterminer la stabilité thermique des fibres naturelles.

- Calorimétrie différentielle à balayage (DSC) :

Chauffer les échantillons à différentes températures tout en mesurant la chaleur absorbée ou libérée à l'aide de la DSC.

Analyser les résultats pour détecter les transitions de phase et les réactions chimiques.

- Analyse thermomécanique (TMA) :

Chauffer les échantillons à différentes températures tout en mesurant leur variation de longueur ou de déformation à l'aide de la TMA.

Analyser les résultats pour évaluer les propriétés mécaniques des fibres naturelles à différentes températures.

- Interprétation des résultats :

Analyser les résultats des tests thermiques pour évaluer la performance des fibres naturelles dans des applications soumises à des températures élevées.

En utilisant ces méthodes d'essais thermiques, il est possible d'évaluer les propriétés thermiques des fibres naturelles telles que leur stabilité thermique, leurs transitions de phase, leurs réactions chimiques et leurs propriétés mécaniques à différentes températures. Ces informations peuvent être utiles pour comprendre la performance des fibres naturelles dans des applications à haute température et pour concevoir des produits adaptés à ces conditions. [41].

I.9 La conductivité thermique

- Collecte d'échantillons :

Collecter des échantillons de fibres naturelles à tester, tels que du coton biologique.

- Préparation des échantillons :

Préparer les échantillons en les coupant en petites tailles pour les tests de conductivité thermique.

- Méthode du fil chaud :

Utiliser la méthode du fil chaud pour mesurer la conductivité thermique des fibres naturelles.

Chauffer un fil conducteur avec un courant électrique constant et le placer en contact avec les échantillons de fibres.

Mesurer la différence de température entre les deux extrémités du fil chaud lorsque la chaleur est transférée des échantillons de fibres au fil chaud.

Calculer la conductivité thermique des fibres naturelles à partir de ces mesures.

- Méthode du flux de chaleur :

Utiliser la méthode du flux de chaleur pour mesurer la conductivité thermique des fibres naturelles.

Chauffer les échantillons de fibres avec un flux de chaleur constant et mesurer la différence de température entre les deux faces de l'échantillon.

Calculer la conductivité thermique des fibres naturelles à partir de ces mesures.

- Interprétation des résultats :

Analyser les résultats des tests de conductivité thermique pour évaluer la capacité des fibres naturelles à conduire la chaleur à travers elles.

Comparer les résultats avec les conductivités thermiques des fibres synthétiques pour évaluer les avantages et les limitations des fibres naturelles dans les applications qui impliquent un transfert de chaleur.[42]

Le test de conductivité thermique est une méthode utilisée pour mesurer la capacité des matériaux à transférer la chaleur. Pour les fibres naturelles, ce test est important pour comprendre comment elles se comportent en termes de transfert de chaleur dans différents environnements et conditions de traitement. Le test de conductivité thermique des fibres naturelles et des composites implique généralement l'utilisation d'un appareil de mesure de conductivité thermique, qui mesure la température et la chaleur transférée à travers l'échantillon de fibre. Les échantillons sont généralement préparés sous forme de plaques ou de films, et les résultats du test de conductivité thermique peuvent être utilisés pour évaluer la qualité et les performances des matériaux composites à base de fibres naturelles. Les facteurs qui influencent la conductivité thermique des fibres naturelles comprennent leur composition chimique, leur structure et leur densité.

I.10 Conclusion

En conclusion, les essais mécaniques de fibre naturelles sont des outils importants pour caractériser les propriétés physiques des fibres naturelles utilisées dans la fabrication de matériaux composites. Les différentes techniques d'essai, telles que l'essai de traction, l'essai de flexion, l'essai de compression et l'essai d'impact, permettent de mesurer les performances mécaniques des fibres naturelles dans des conditions différentes. En outre, les essais thermiques et de conductivité thermique offrent des informations précieuses sur les propriétés thermiques des fibres naturelles. En combinant les résultats de ces essais avec une analyse microscopique et chimique, il est possible de mieux comprendre les mécanismes de renforcement des fibres naturelles et d'optimiser leur utilisation dans les composites. En somme, les essais mécaniques de fibre naturelles sont essentiels pour le développement de matériaux composites plus durables et respectueux de l'environnement.

Chapitre III

Partie expérimentale

Introduction

Halfa, également connu sous le nom de *Stipa tenacissima*, est une plante vivace appartenant à la famille des Poacées. Originaires des régions méditerranéennes et nord-africaines, le halfa est largement répandu dans des pays tels que le Maroc, l'Algérie, la Tunisie, l'Espagne et la France.

III.1. Préparation et fabrication

III.1.1. PREPARATION DES MATERIAUX

• **Halfa** : L'herbe alliée se trouve dans la région sud algérienne, notamment l'Oued Souf, où l'on coupe les Aalfa pour les faire sécher pendant une durée de 18 jours afin de l'étudier.



Fig. III.1: halfa



Fig. III .2: coupes halfa



Fig. III.3: halfa séchés

• **La résine** la résine est une substance solide ou semi-solide, généralement transparente ou translucide, utilisée dans de nombreux domaines pour ses propriétés adhésives, protectrices ou décoratives.



Fig. III.4 : Résine polyester

•**Moule** : Il s'agit d'un moule rectangulaire en acier de 30 cm de long et 20 cm de large. Avant de l'utiliser, un processus de nettoyage doit être effectué.



Figure III.5 : Moule en acier

•**Pompe** : La pompe est un dispositif mécanique utilisé pour déplacer ou faire circuler un fluide, tel que l'eau, l'air, l'huile, ou tout autre liquide ou gaz. Elle est conçue pour créer une pression ou un vide afin de transférer le fluide d'un endroit à un autre. Les pompes peuvent être alimentées par différentes sources d'énergie, telles que l'électricité, le moteur à combustion interne, la main ou d'autres systèmes mécaniques, et fonctionne pour tirer l'air du moule vers l'extérieur.



Figure I.10II.6 : Pompe à vide

III.2.1.a. Traitement chimique

Tout d'abord, nous avons préparé les Halfa secs et les avons mis dans un récipient en plastique avec une quantité de sel estimée à 500 grammes et 5 litres d'eau distillée, et les avons laissés pendant une période de 24 heures (une journée entière).

**Figure I.10II.7 : halfa tout en mettant de l'eau distillée et du sel****Figure I.10II.8: l'eau distillée****Figure I.10II.9. Sel**

Après l'expiration du délai, nous retirons les Halfa et les lavons à nouveau avec de l'eau distillée uniquement pour en éliminer le sel.

**Figure I.10II.10 : pendant le lavage****Figure I.10II.11 : Apres le lavage**

Ensuite, nous mélangeons 5 litres d'eau distillée avec l'acide NaOH et y mettons les Halfa que nous avons préalablement lavés pendant une période de 120 minutes.



Figure I.10II.12 : pendant le traitement avec NaOH



Figure I.10II.13. NaOH

Au bout de deux heures, nous le retirons et le lavons uniquement avec de l'eau distillée et le laissons sécher pendant 36 heures.



Figure I.10II.14. Pendant le séchage

III.2.2. Matériels

Halfa: ensuite, nous mettons une certaine quantité d'alliés dans le moule en acier



Figure I.10II.15 Ajouter des Halfa dans le moule.

Ensuite, nous combinons 188 grammes de résine avec 81 grammes de fixateur puis les mettons à une température de 50 degrés pendant 5 minutes.



Figure I.10II.16 la résine
fixateurs

Figure I.10II.17

Tableau III.1 : propriétés de la résine^[43]

Product name	DURACLEAR EPOXY	
Resin type	Urethane/Acrylic	
Specifications		
Item		
Component Density (specific density @ 25°C)	1.12 epoxy ,0.97 hardener	1.12 epoxy ,0.95 hardener
Mix Ratio by volume	2:1	2:1
Mix Ratio by weight	100:43	100:43
Viscosity (A/B/Mixed @ 25 °C)	1850/35/280	1850/25/195
Mixed Density (specific density @ 25°C)	1.07	1.07
Pot Life (@ 25°C)	90 min	360 min
Tack Free Time (@ 35°C)	24 hrs	72 hrs
Color	White	White
PH	7-9	7-9
Recommended Full Cure	7 days @ 25°C	7 days @ 25°C,
Gel time @ 22°C in a 150 gram mass	5.5 hrs	5.5 hrs
Maximum casting depth	1.27-2.54 cm	1.27-2.54 cm
Tensile strength, MPa	56.1	54.5
Elongation, %	6	6.5
Young's modulus, GPa	3.10	3.00

Et puis on amène le moule pour mettre le mélange (s'allie avec la résine), Nous le laissons pendant une période de 72 heures afin de sécher l'échantillon.



Figure I.10II.18 : Moule

III.2.3. Préparation des éprouvettes

III.2.3.1 Technique de fabrication

L'infusion sous vide est l'un des procédés modernes de fabrication de composites qui pourraient potentiellement remplacer la méthode traditionnelle. L'idée derrière l'infusion sous vide est d'appliquer une pression négative pour aspirer l'air à l'intérieur du moule tout en aspirant la résine dans le moule, imprégnant ainsi le renfort dans la résine. Une fois la couche de résine et la matrice produites, Avec une structure fibreuse bidimensionnelle, le frottement volumique de la fibre est de 30%. Pour réduire le danger de vides et de porosité dans le matériau, des échantillons composites ont été créés en utilisant la technique d'injection de résine assistée par le vide (VARI). Le moule a une dimension de 20 x 30 cm et une épaisseur de 4 mm. Initialement, les fibres ont été pesées en utilisant la fraction pondérale nécessaire. La quantité d'époxy et de durcisseur nécessaire a été calculée. Les fibres ont été séchées dans un four à 60 ° C pendant environ 120 minutes pour éviter les vides, l'humidité et une mauvaise adhérence fibre-matrice. La surface du moule a été soigneusement nettoyée et un agent de démoulage (aérosol de silicone) a été appliqué sur toute la surface du moule pour un retrait facile et une excellente finition de surface du produit. Les fibres ont été placées dans le moule une fois préparées. Le moule était recouvert d'un autre morceau de moule. Le tuyau d'entrée est fixé à l'entrée de résine, tandis que le tuyau de sortie est fixé au piège à résine. Après avoir connecté et terminé l'installation de la pompe à vide du circuit, celle-ci a commencé à fonctionner et la résine a traversé la section d'entrée et est entrée dans le moule en raison de la pression différentielle jusqu'à ce qu'elle atteigne la section de sortie.

Le moule a été laissé sécher pendant 48 à 72 heures à température ambiante avant que l'échantillon ne soit délicatement retiré de la matrice.

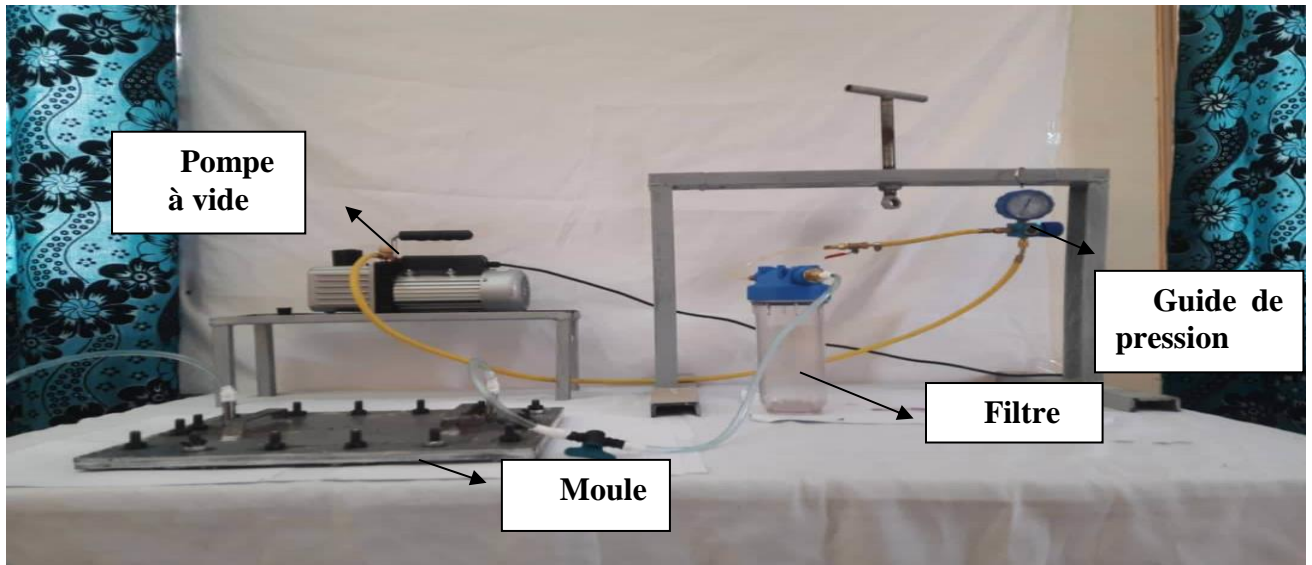


Figure I.10II.19. Technique de fabrication

•Etuve

L'échantillon a ensuite été placé dans une étuve à 40°C pendant 24 heures. Les matériaux durcis ont été découpés en pièces d'essai standard pour les examens des propriétés des matériaux.



Figure I.10II.20. Échantillon étudié

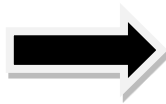


Figure I.10II.21. Technique de fabrication

III.3. Caractérisation physique

III.3.1. Préparation des échantillons pour les analyses

L'un des avantages de la combustion des fibres est l'élimination de la matière organique et des minéraux les plus importants de l'échantillon Sous une température de 300 degrés pendant 120 minutes.

III.3.2. FTIR

Les chercheurs ont expérimenté une variété de traitements chimiques pour améliorer la teneur en cellulose, les caractéristiques mécaniques, la rugosité de surface, etc., et cette méthode peut être utilisée pour déterminer les changements chimiques se produisant dans les groupes fonctionnels. Analyse utilisant 4000 cm^{-1} ; infrarouge à transformée de Fourier (FT-IR). Les échantillons 1, 2, représentent des fibres de HALFA avec et sans traitement Ils ont été examinés par FTIR. Pour étudier les changements de composition chimique, 0,02 g de chaque échantillon a été broyé et mélangé avec 0,198 g de poudre de KBr avant d'être broyé sur un disque de KBr et comprimé à une pression de 70 KN pendant 2 minutes. FTIR utilise une gamme de nombres d'onde de 400 à 4000 cm^{-1} , et 20 scans ont été effectués dans chaque cas.

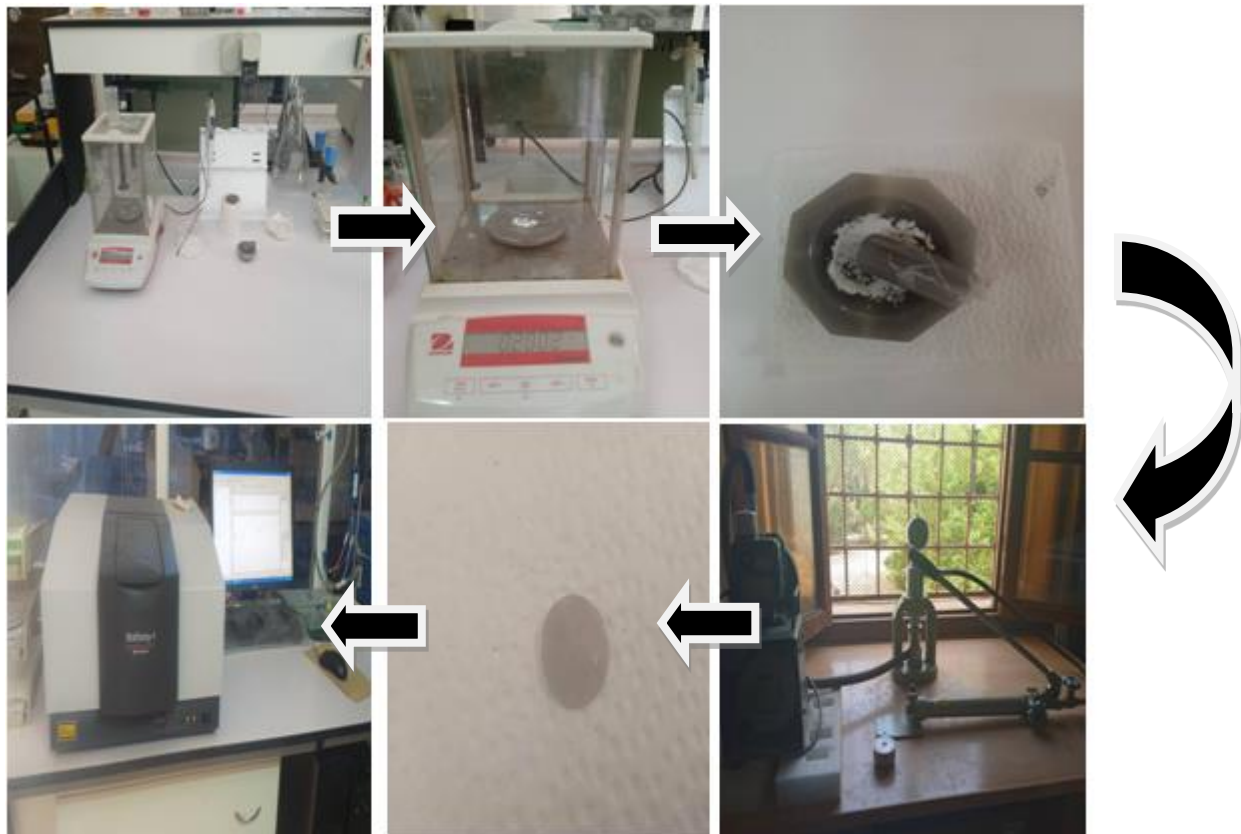


Figure I.10II.22. Traitement infrarouge de l'échantillon

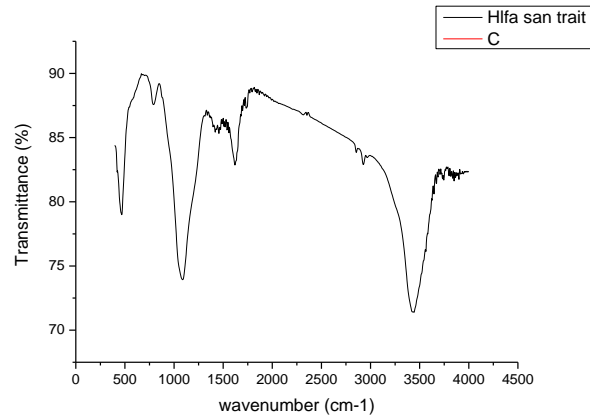


FIG.III .23. Spectroscopie FTIR de fibres d’HLFA non traitées

La courbe représente les variations de nombre d'ondes avec l'indication transmittance. Avant l'analyse, où nous remarquons le début de l'apparition de la courbe à 85% au point 250 cm. Où la valeur maximale atteint 90% au point 750cm et la valeur minimale 70% au point 3500cm

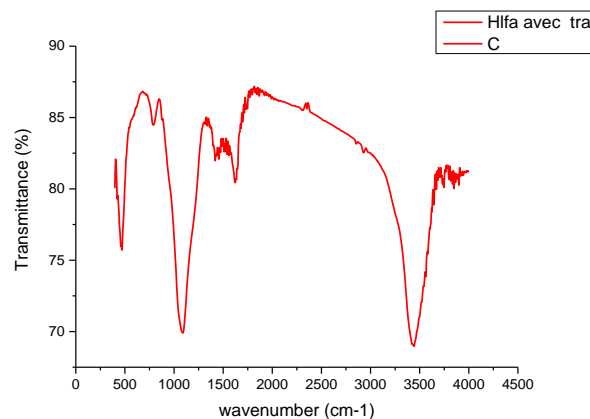


FIG.III.24. Spectroscopie FTIR de fibres HLFA traitées

La courbe représente les variations de nombre d'ondes avec l'indication transmittance. Après l'analyse, où nous remarquons le début de l'apparition de la courbe à 82% au point 450 cm. Où la valeur maximale atteint 87% au point 750cm et la valeur minimale 35% au point 3400cm

III.3.3.DRX

La cristallographie aux rayons X est la technique la plus largement utilisée pour identifier les structures moléculaires et cristallines de toute substance cristalline, qu'elle soit naturelle ou synthétique.

Le motif d'enregistrement est basé sur la mesure des intensités des raies de diffraction en transmettant les étapes de la source et du détecteur. Nous avons pu enregistrer le diagramme de diffraction sur le matériau étudié à l'aide de l'instrument de diffraction des rayons X. Le graphique illustré à la figure a été créé à l'aide d'Origin Lab 9.1



Figure I.10II.25. Appareille de mesure rayons X

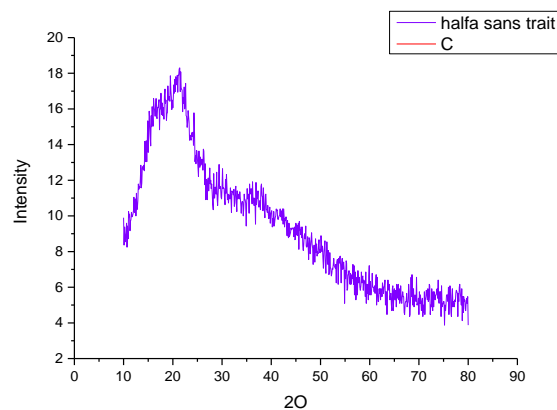


FIG.III.26. Diagrammes de diffraction des rayons X de Alfas non traitées

La courbe représente les changements de densité en fonction d'angle avant traitement, où l'on remarque l'apparition de la courbe à la densité 8 à l'angle 10, puis une augmentation continue jusqu'à atteindre un pic à la densité 18 à l'angle 22, puis une chute continue jusqu'à ce qu'elle attient à la fin la densité 4 à l'angle 80

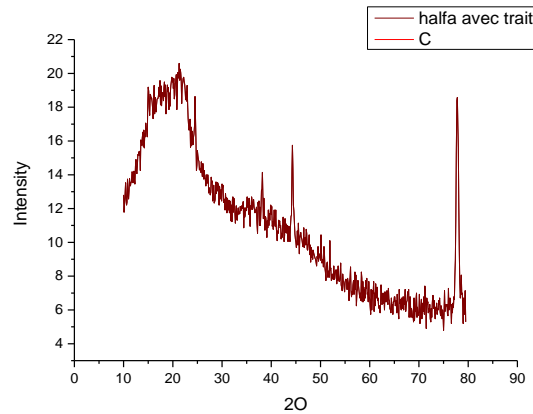


FIG.III.27. Diagrammes de diffraction des rayons X de HLFA traitées

La courbe représente les changements de densité en fonction d'angle après traitement, où l'on remarque l'apparition de la courbe à la densité 12 à l'angle 10, puis une augmentation continue jusqu'à atteindre un pic à la densité 20 à l'angle 20, puis une chute continue jusqu'à ce qu'elle atteigne à la fin la densité 4 à l'angle 77, puis une augmentation continue jusqu'à atteindre la densité 18 à l'angle 79, puis chute libre à la densité 4 à l'angle 80.

III.3.4.MEB

Un microscope électronique est un appareil qui utilise un faisceau d'électrons pour créer une image haute résolution ou analyser divers échantillons à l'échelle microscopique.

Le microscope électronique est l'un des outils de base des sciences naturelles et de l'ingénierie.

Le microscope électronique se compose d'une source pour libérer des électrons et de lentilles magnétiques pour guider les électrons, en plus d'un écran utilisé pour générer des images. Ainsi, les utilisateurs peuvent voir des choses qui ne peuvent pas être vues à l'œil nu à travers un microscope électronique.

La microscopie électronique peut être utilisée dans de nombreuses applications telles que l'analyse des matériaux, la détection de la porosité et de la composition physique des matériaux, la surveillance des mutations génétiques et la recherche en nanotechnologie.



Figure I.10II.28. Microscope électronique

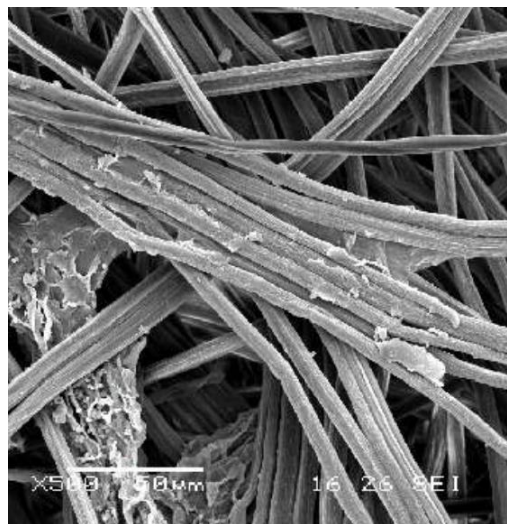


Figure III.29. : Micrographies électroniques à balayage de HAFA non traitées

Avant traitement, on remarque l'apparition d'impuretés

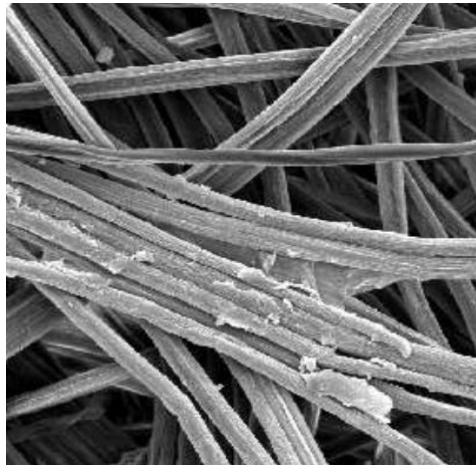


Figure.III.30. : Micrographies électroniques à balayage de HLFA traitées

Après traitement, on constate la disparition des impuretés

III.4. Procédé d'élaboration des éprouvettes

La mise en œuvre des stratifiés est réalisée par moulage sous pression à température ambiante pendant 24 heures entre moule et contre moule après interposition des deux types de renfort.

Les plaques obtenues, de dimensions de 300 mm * 300 mm, sont découpées en éprouvettes après 30 jours de repos selon la norme ASTM D 790-84a pour la flexion 3-points et selon la norme ISO 527-4 type 3 pour la traction à l'aide d'une tronçonneuse à disque diamanté et lubrifié. [40] [41] [42]

Les dimensions moyennes des éprouvettes sont données dans le tableau III.2 :

Tableau III.2 : Dimensions des éprouvettes en (mm).

	Longueur totale	Longueur entre outillage	Longueur de référence	Largeur	Epaisseur
Traction	250 ± 1	136 ± 1	50 ± 1	25 ± 0.5	5 ± 0.3
Flexion 3-points	90 ± 1	70 ± 1	--	16 ± 1	5 ± 0.3

III.4.1. Dispositif expérimental

Les essais de traction et de flexion sont effectués sur une machine universelle **Zwick** de type **Z250/SN5A** pilotée par ordinateur équipé du logiciel Test Xpert V9.0 ; et dotée d'un capteur de force de **2,5 KN**. Celle-ci est reliée à une chaîne d'acquisition qui permet l'enregistrement simultané des contraintes et déformations lors de la traction, de la force et du

déplacement lors de la flexion (figure III.30). Cinq éprouvettes au moins sont testées pour chaque type de sollicitation avec une vitesse d'essai de 2 mm mn

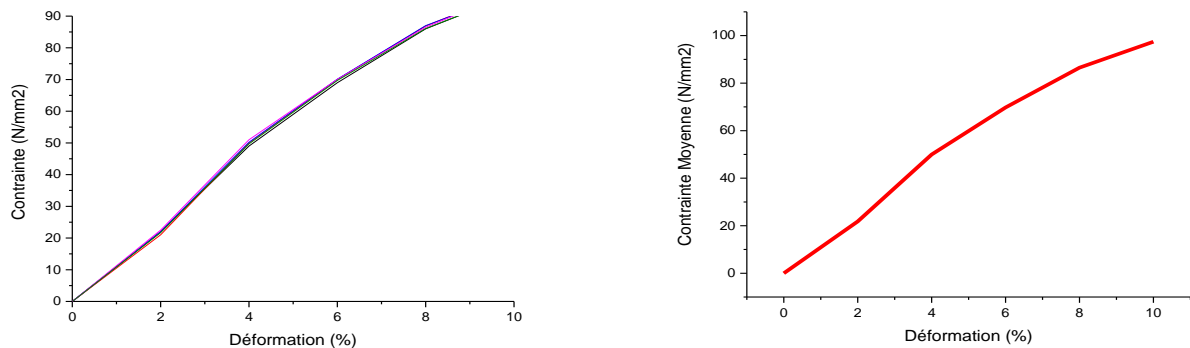


Figure III .31. : Machine d'essai Z250/SN5A.

III.5. Résultats et discussion

III.5.1 Essai de traction

La figure III.32 représente l'évolution de la contrainte en fonction de la déformation longitudinale laquelle montre une faible fluctuation entre les différentes éprouvettes ce qui traduit l'homogénéité du matériau élaboré. De l'allure de la courbe moyenne, nous constatons que la contrainte varie de manière linéaire (zone élastique) jusqu'à une valeur proche de 60 Newtons par mm^2 avant de changer d'allure (allure parabolique, zone plastique) jusqu'à ce qu'elle atteigne sa valeur maximale qui avoisine les 80 Newtons par mm^2 .



FigureIII.32 : Evolution de la contrainte en fonction de la déformation longitudinale pour l'hybride FIBRE ALFA

Tableau III.3. : Les valeurs d'essai d'déformation et contrainte

Déformation %	0	2	4	6	8	10
Contrainte N/mm ²	0	22	49	69	86	*97
Contrainte N/mm ²	0	21	50	70	86.9	98
Contrainte N/mm ²	0	22	50.2	70.1	87	97.5
Contrainte N/mm ²	0	22.5	51	70.05	86.5	97.8
Contrainte N/mm ²	0	21.7	49.7	69.7	86.1	96.9

Déformation %	0	2	4	6	8	10
Contrainte Moyenne N/mm ²	0	21.8	49.98	69.77	86.5	97.44

Les caractéristiques mécaniques du matériau composite FIBER HALFA sont regroupées dans le tableau III.3

Tableau III.4. : Caractéristiques mécaniques de FIBER HALFA (Chargement en traction)

ϵ_{rup} [%]	σ_{rup} [MPa]	ϵ_{max} [%]	σ_{max} [MPa]	E [GPa]
5.397	70.572	4.932	78.775	18.434

III.5.2 Essai de flexion 3-points

Après avoir caractérisé notre matériau sous la sollicitation de traction, nous nous sommes intéressés à le caractériser par un chargement de flexion 3-points. Les résultats de cette caractérisation sont représentés par la figure III...où, de l'allure de la courbe force-déplacement, nous déduisons que la force varie en premier lieu d'une manière linéaire (comportement élastique) jusqu'à une valeur avoisinante de 600 Newtons, avant de changer

d'allure (comportement plastique) jusqu'à une valeur maximale proche de 870 Newtons suivie par une rupture franche.



Figure III.33. : Dispositif de flexion 3-points.

En ce qui concerne les caractéristiques mécaniques du composite élaboré, nous les présentons dans le tableau III.4

Tableau III.5: Caractéristiques mécaniques du composite fiber de Halfa. (Chargement en flexion 3-points)

δ_{rup} [mm]	σ_f rup [MPa]	δ_{max} [mm]	σ_f max [MPa]	E_f [GPa]
5.811	99.928	5.217	183.168	4.0856

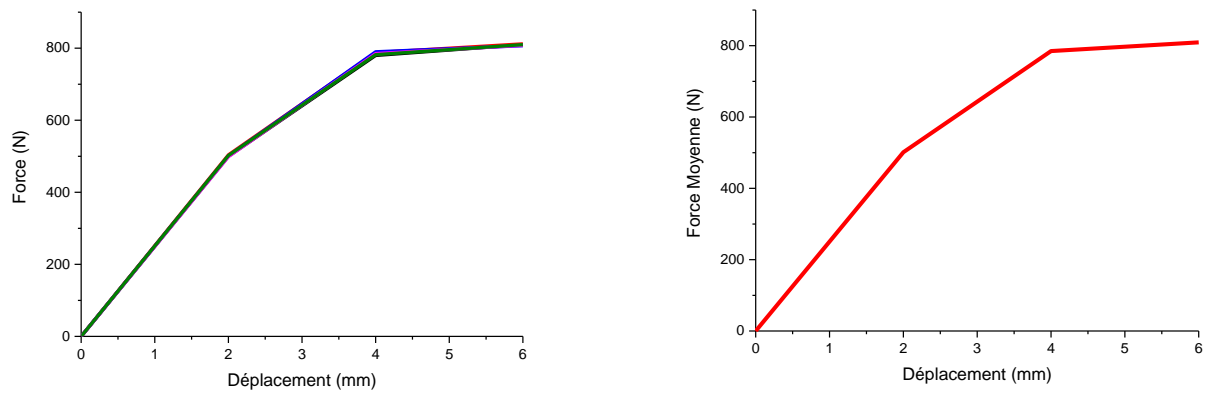


Figure III.34. : Evolution de la force en fonction du déplacement pour le composite fibre de halfa

Tableau III.6. : Les valeurs l’essai de déplacement et la force

Déplacement en mm	0	2	4	6
Force en N	0	500	780	810
Force en N	0	504	788	812
Force en N	0	501	790	807
Force en N	0	499	785	808
Force en N	0	502	782	810

Déplacement en mm	0	2	4	6
Force Moyenne en N	0	501.2	785	809.4

III.6. Conclusion

Notre étude s'intéresse à une caractérisation mécanique expérimentale d'un nouveau matériau composite hybride verre-acier/époxy moyennant deux types de chargement : traction et flexion 3-points.

A partir des résultats obtenus, nous pouvons conclure que la variation de la contrainte en fonction de la déformation longitudinale se fait selon deux allures (linéaire et parabolique) lors d'un essai de traction, de même, la variation de la force en fonction de la flèche au point de chargement, pour un essai de flexion 3-points, évolue selon une allure linéaire avant de se courber. Quant aux valeurs des constantes de l'ingénieur, nous remarquons qu'elles ne sont pas identiques lors de la traction par rapport à la flexion 3-points.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

La présente étude a porté sur les propriétés mécaniques des fibres naturelles d'Al Halfa. Après avoir effectué divers tests et analyses, les conclusions suivantes ont été tirées :

Résistance à la traction : Les fibres naturelles d'hlfa présentent une résistance à la traction élevée. Elles ont démontré une capacité à supporter des charges importantes avant de se rompre, ce qui indique leur potentiel en tant que matériau structurel.

Module d'élasticité : Les fibres d'hlfa ont également montré un module d'élasticité élevé. Cela signifie qu'elles sont capables de résister à la déformation sous une charge appliquée et de retrouver leur forme initiale une fois la charge retirée. Cette caractéristique est essentielle pour les matériaux utilisés dans des applications nécessitant une résistance structurelle.

Ténacité : Les fibres naturelles d'hlfa se sont révélées être très tenaces. Elles ont la capacité d'absorber l'énergie lors de la déformation avant de se rompre, ce qui les rend adaptées à des utilisations nécessitant une grande résistance aux chocs.

Faible densité : Les fibres d'hlfa présentent une faible densité, ce qui les rend légères. Cette propriété est avantageuse dans diverses applications, notamment dans l'industrie automobile et aérospatiale, où la réduction du poids est essentielle pour améliorer l'efficacité énergétique.

En conclusion, l'étude des propriétés mécaniques des fibres naturelles d'hlfa a démontré leur grande résistance à la traction, leur module d'élasticité élevé, leur ténacité et leur faible densité. Ces caractéristiques en font un matériau prometteur pour diverses applications industrielles, notamment dans les domaines de la construction, de l'automobile et de l'aérospatiale. Des recherches supplémentaires et des tests approfondis seront nécessaires pour exploiter pleinement leur potentiel et développer des applications spécifiques.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] F. Michaud, "Rhéologie de panneaux composites bois/thermoplastiques sous chargement thermomécanique: Aptitude post formage" thèse Phd, univ Laval, 2003
- [2] Kari, D. E., Benmounah, A., Boumediri, H., Bezazi, A., & Bezzazi, B. Investigations on chemical, thermal decomposition and statistical analysis of the mechanical properties for jute fiber yarns.
- [3] BELDJOU, N., & GHADBANE, F. (2020). L'impact du traitement écologique à base du bicarbonate de sodium sur les propriétés des fibres végétales (Doctoral dissertation, Univ M'Sila).
- [4] DJEBLOUN, Y. (2018). Contribution à la caractérisation des matériaux composites renforcés de fibres végétales (Doctoral dissertation, UNIVERSITE MOHAMED KHIDER BISKRA).
- [5] DEBABI, Z., & BOUGUERRA, A. effet des traitements chimiques sur la morphologie structurale des fibres végétales utilisées dans un matériau composite. 2019 (Doctoral dissertation, Thèse de doctorat. Université Mohamed BOUDIAF de M'Sila).
- [6] Yahiaoui, L. (2018). Caractérisation d'un composite à la rupture à base des fibres végétales (Diss) (Doctoral dissertation).
- [7] Boughediri, S. (2019). Réalisation D'un Nouveau Matériau Biocomposite À Base De Matrice Résine [Mémoire de Master, Université Mohamed Khider - Biskra].
- [8] Bourahli, M. (2018). Caractérisation D'un Composite Verre Époxy [Thèse de Doctorat, Université Ferhat Abbas - Sétif 1].
- [9] El Boustani, M. (2016). Modification des fibres végétales par un procédé écologique: effets sur la microstructure et la compatibilité avec les matrices polymériques (Doctoral dissertation, Université du Québec à Trois-Rivières).
- [10] Hajj, R. (2018). Procédés de Modification des Fibres naturelles (PROMOF) (Doctoral dissertation, IMT-MINES ALES-IMT-Mines Alès Ecole Mines-Télécom; École Doctorale des Sciences et de Technologie (Beyrouth)).
- [11] Zapata Massot Céline, « synthèse de matériaux composite par Co-broyage en voie sèche et caractérisation des propriétés physico-chimique et d'usage des matériaux », institut national polytechnique de Toulouse, décembre 2004
- [12] C. Baley. Fibres naturelles de renfort pour matériaux composites. Technique de l'ingénieur, traité génie des procédés, Vol. AM5, 2004, pp. 130.
- [13] Yim J-H, Cho S-Y, Seo Y-J et. Jang B-Z. "A study on material damping of 0° laminated composite sandwich cantilever beams with a viscoelastic layer". Composites structures 2003;60:367-374.
- [14] Li Y., Mai Y-W et Ye L. (2000). Sisal fibre and its composites: a review of recent developments, Composites Science and Technology, 60, 2037-2055
- [15] A. Wachowski. « Les Parois de Cellules Végétales », [en ligne], 2006. disponible sur <http://www.lycees-ac-rouen.fr/lgcorneille/SPIP/IMG/DS206.pdf> (Consulté le 15/12/2013).
- [16] C. Baley. Fibres naturelles de renfort pour matériaux composites. Technique de l'ingénieur, traité génie des procédés, Vol. AM5, 2004, pp. 130

- [17] C. Zamprogno et P. Hourçourigaray, «Nautisme et Composites BioSourcés», [en ligne], 2012. 31p, disponible sur <http://www.eurolarge.fr/wp-content/uploads/2012/12/Lettre>
- [18] Laine J et Troussier J, « Les fibres naturelles utilisées en plasturgie. », Cours Science des Polymères, Institut Supérieur De Plasturgie D'Alençon, 2006
- [19] Bogoeva-Gaceva G; Avella M; Malinconico M; Buzarovska A; Grozdanov A, Gentile G. Natural Fiber Eco-composites, *Polymer Composites*, 2007, 28, 98-107.
- [20] Khedache, S. (2011). *Elaboration Et Caractérisation Thermomécanique D'un Mortier Renforcé Par Des Fibres Animales* [Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri - Tizi Ouzou].
- [21] Smith, J. (2018). Animal fibers in composite materials: A review of their properties and applications. *Journal of Materials Science*, 53(12), 8722-8741
- [22] Bismarck, A., Mishra, S., & Lampke, T. (2005). Plant fibers as reinforcement for green composites. In K. Friedrich & M. Breuer (Eds.), *Design of biocomposites* (pp. 101-123). John Wiley & Sons.
- [23] LE DUIGOU (A.), DAVIES (P.), BAILEY (C.) - Environmental impact analysis of the production of flax fibres to be used as composite material reinforcement. - *J Biobased Mater Bioenergy* ; 5 : p. 153-65 [doi:10.1166/jbmb.2011.1116] (2011).
- [24] Mishra, S., & Mohanty, A. K. (2011). Natural fibers, biopolymers, and biocomposites: An overview. In A. K. Mohanty, M. Misra, & L. T. Drzal (Eds.), *Natural fibers, biopolymers, and biocomposites* (pp. 1-22). CRC Press.
- [25] Lin, J., Xie, Y., Wang, C., Yang, J., & Leng, J. (2019). Animal Fiber-Reinforced Polymer Composites. In *Advanced High Strength Natural Fibre Composites in Construction* (pp. 59-85). Woodhead Publishing.
- [26] Y. (2022). Absorption d'eau et résistance à l'humidité de différentes fibres naturelles. *Journal of Materials Science*, 57(6), 3548-3559.
- [27] Bourahli, M. E. H. (2018). *Caractérisation d'un composite verre époxy*.
- [28] Mittal, M. and Chaudhary, R. (2018) Experimental Study on the Water Absorption and Surface Characteristics of Alkali Treated Pineapple Leaf Fibre and Coconut Husk Fibre. *International Journal of Applied Engineering Research*, 13, 12237-12243.
- [29] Begum, H.A., Saha, S.K., Siddique, A.B. and Stegmaier, T. (2019) Investigation on the Spinability of Fine Areca Fiber. *The Journal of the Textile Institute*, 110, 1241-1245.
- [30] Singh, B., & Gupta, M. (2018). A Review on Mechanical Properties of Natural Fiber Reinforced Hybrid Composites. *Journal of Industrial Textiles*, 48(8), 1069–1091.
- [31] Antonio r. & Elizabeth p. sievert, "The story of Abaca", Ateneo de Manila University Press, 2009
- [29] Roudier, A., Charlet, K., Moreno, F., Toussaint, E., Généau-Sbartai, C., Commereuc, S., ... & Béakou, A. (2012). Caractérisation des propriétés biochimiques et hygroscopiques d'une fibre de lin. *Matériaux & Techniques*, 100(5), 525-535.
- [33] Gahloth, J. K., Khare, S. K., & Sharma, S. K. (2012). Tensile testing of natural fibers. *Journal of Natural Fibers*, 9(4), 251-279. doi: 10.1080/15440478.2012.696265
- [34] ASTM D638-14a, "Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics
- [35] ASTM D790-17, "Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials

Bibliographique

- [36] Kalia, S., Kaith, B. S., & Kaur, I. (2009). Pretreatments of natural fibers and their application as reinforcing material in polymer composites—A review. *Polymer engineering and science*, 49(7), 1253-1272
- [37] ASTM D695-15, "Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics"
- [38] Alam, N., Rahman, M. A., Hasan, M., & Hasanuzzaman, M. (2018). Mechanical properties of jute, sisal, and kapok fibers. *Journal of Natural Fibers*, 15(5), 664-677.
- [39] Baley, C. (2020). Fibres naturelles de renfort pour matériaux composites. *Techniques de l'Ingénieur*.
- [40] Maleque, A. M. A., Masjuki, M. S., Kalam, M. A., & Masum, H. H. (2010). Mechanical and impact properties of hybrid composite based on kenaf and ramie natural fibers. *Journal of Composite Materials*, 44(7), 833-847
- [41] Ahmed, F., Ahmed, J., & Khan, M. A. (2018). Thermal analysis of natural fibers and their composites: A review. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 131(1), 375-401.
- [42] Correia, R., Figueiro, M., & Moura, A. (2017). Thermal conductivity of natural fibers. *Journal of Natural Fibers*, 14(2), 253-265.
- [40] Broutman L. J. & Sahu S. *Composites Materials, testing and design*, ASTM STP, pp 170-188, 1972
- [41] Chou P. C. & Croman R. *Journal of Composites Materials, testing and design*, ASTM STP 674, pp 431-454, 1979
- [42] El Mahi A. , Bezazi A. R. & Berthelot J. M. " Influence du type de renfort sur le comportement.
- [43] Relation entre les propriétés de la résine et le phénomène de perlage de tubes composites verre-époxy
[Texte imprimé] / Cécile Barrère-Tricca,...

Bibliographique
