

People's Democratic Republic of Algeria
Ministry of Higher Education and Scientific Research
Mohamed Boudiaf University of M'sila
Faculty of Technology



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة المسيلة
كلية التكنولوجيا

Département de Génie Mécanique
MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

MASTER

En Génie Mécanique

Option : Fabrication mécanique et productive

Présenté par : Rabeh Belabbas & Attala Ilyas

Thème

**EFFET DE LA TENEUR DES RENFORTS SUR
LES PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES D'UN MATÉRIAU COMPOSITE**

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Qualité
AMROUNE Salah	Pr	Président
ELHADI Abdelmalek	MCA	Encadreur
BELHOCINE Abdelghani	MCB	Examineur

Année Universitaire : 2023/2024

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

A ma mère Massouda

*Tu m'as donné, la tendresse et le courage pour réussir. Toute ce que je peux t'offrir
ne pourra exprimer l'amour et la reconnaissance.*

A mon père Aziz

*L'épaule solide, l'oeil attentif compréhensif et la personne la plus digne de mon
estime et mon respect*

A ma femme

En témoignage, je t'offre ce modeste travail afin de te remercier pour tes sacrifices

Pour moi.

A mes frères. Djamel, Messaoud, Saïd, Bachir

A mes sœurs. Fatima, Asmaa, souhila, Zineb

À mes amis. Salah, Djamel, Oussama

Remerciement

*Tout d'abord, Nous remercions Dieu pour son succès à la fin de mémoire
fin d'étude master.*

*Nous tenons à remercier M. ElHadi Abdelmalek de nous avoir guidé et de
ses efforts.*

*Nous remercions le département de génie mécanique, toute la famille de
l'université et tous nos amis*

Sommaire

Dédicace

Remerciement

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale.....2

CHAPITRE I

NOTIONS FONDAMENTALES SUR LES MATERIAUX COMPOSITES

I- Introduction :4

I.1-Définition d'un matériau composite :4

I.2-Constituants principaux d'un matériau composite :4

I.2.1- Matrice :5

I.2.1.1-Types des matrices :5

I.2.1.1- Les thermoplastiques :5

I.2.1.2- Les thermodurcissables :6

I.2.1.3- Les résines époxydes :7

I.2.1.4- Les résines polyesters :8

I.2.1.5- Les résines de condensation :8

I.2.2- Renforts :8

I.2.2.1-Types des renforts :9

I.2.2.1- Les fibres de verre :9

I.2.2.2- les fibres de carbone :9

I.2.2.3- Les fibres aramides :10

I.3-Les charges et additifs :10

I.3.1- Les Charges :11

I.3.1.1- Charges renforçantes :11

I.3.1.2- Charges non renforçantes :11

I.3.2- Les Additifs :11

I.3.2.1- Les lubrifiants et agents de démoulage :11

I.3.2.2- Les pigments et colorants :11

I.3.2.3- Les agents anti-retraits :	11
I.3.2.4- Les agents anti-ultraviolets :	12
I.4- Classification des matériaux composites :	12
I.4.1- Renforcés par des particules :	12
I.4.2- Renforcés par des fibres :	12
I.4.3- Composites structuraux :	13
I.5- Les fibres naturelles :	13
I.5.1- d'origine animale :	13
I.5.2- Origin minéral :	14
I.5.3- Origin végétales :	14
I.5.3.1- Fibre de jute :	15
I.5.3.2- Luffa :	15
I.5.4- Classification des fibres végétales :	16
I.5.4.1- Les fibres des feuilles :	15
I.5.4.2- Les fibres des tiges :	15
I.5.4.3- Les fibres de bois :	16
I.5.4.4- Les fibres de surface :	16
I.5.5- Caractéristiques d'une fibre végétale :	16
I.5.6- Propriétés physiques et mécaniques des fibres végétales :	16
I.5.7- Structure d'une fibre végétale :	17
I.5.8- Composition chimique des fibres végétales :	18
I.5.8.1- La cellulose :	18
I.5.8.2- Les hémicelluloses :	19
I.5.8.3- La lignine :	19
I.6- Les fibres chimiques :	20
I.6.1- Les fibres artificielles :	20
I.6.2- Les fibres synthétiques :	20
I.6.3- Classification des fibres chimiques :	21
I.7- Mise en œuvre des matériaux composites :	21
I.7.1- Moulage sans pression :	21
I.7.1.1- Moulage au contact :	21

I.7.1.2- Moulage par injection simultanée :	22
I.7.2- Moulage par injection :	23
I.7.3- Moulage sous vide :	23

CHAPITRE II

DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX ET TECHNIQUES DE MESURE

II. Introduction :	26
II.1- Principe d'essai de traction :	26
II.2- Eprouvette d'essai de traction :	26
II.3- Courbe de traction conventionnelle :	27
II.4- Vitesses d'essai de traction :	28
II.5- Caractéristiques mécaniques :	28
II.5.1- Résistance à la rupture :	28
II.5.2- Allongement (A%) :	28
II.5.3- Coefficient de striction (Z%) :	29
II.5.4- Module d'élasticité longitudinale (Module d'Young) (E) :	29
II.6- Présentation des échantillons :	29
II.7- Préparation des éprouvettes :	30
II.7.1- Introduction :	30
II.7.2- Fabrication de la plaque (Jute – Luffa) :	30
II.7.3- Usinage des éprouvettes :	31
II.8- Machine de traction :	33

CHAPITRE III

RESULTATS EXPERIMENTAUX OBTENUS ET DISCUSSION

III.1- Introduction:	35
III.2- Caractéristiques de traction :	35.
III.3- Mesures l'échantillons:	39
III.3.1- Calcul Coefficient de striction (Z%):	40
III.4- Résultats obtenus:	41
III.5- Analyse du tableau III.4:	42

III.6 Variation du module d'élasticité longitudinale (module de Young) en fonction de la teneur en jute/luffa :	42
III.7 : Variation de la Résistance à la rupture en fonction de la teneur en jute/luffa :	42
III.8 : Variation de l'allongement A % en fonction de la teneur en jute/luffa :	43
III.9 : Variation du coefficient de striction Z% en fonction de la teneur en jute/luffa :	44
CONCLUSION GENERALE	46
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	47

Liste des figures

CHAPITRE I :

NOTIONS FONDAMENTALES SUR LES MATERIAUX COMPOSITES

Fig.I.1. Schéma illustratif d'un matériau composite.....	4
Fig.I.2. Types de matrice.....	5
Fig.I.3. Types des renforts.	9
Fig.I.4. Fibre d'aramide.....	10
Fig.I.5. Classification des matériaux composites.....	12
Fig.I.6. Classification des fibres naturelles en fonction de leur origine.....	13
Fig. I.7. Fibre naturelle animale.....	14
Fig. I.8. Des fibres d'amiante observées au microscope.....	14
Fig. I.9. Le Fibre de jute.....	15
Fig. I.10 : Représentation schématique des différentes couches de la paroi cellulaire.....	17
Fig.I.11. Molécule de cellulose (n répétitions du motif cellobiose).	18
Fig.I.12. Structure chimique partielle de deux hémicelluloses	

(A) O-acétyle-4 Ométhylglucuronoxylane de feuillus	
(B) Arabino-4-O-méthylglucuronoxylane derésineux.....	18
Fig.I.13. Représentation schématique de la lignine.....	19
Fig.I.14. Classification les fibres synthétiques et artificielles.....	20
Fig.I.15. Systèmes Composites pour le Moulage au Contact.....	21
Fig.I.16. Principe du moulage par projection simultanée.....	22
Fig.I.17. Principe du moulage par injection.....	22
Fig.I.18. Moulage sous vide.....	23

CHAPITRE 02

DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX ET TECHNIQUES DE MESURE

Fig.II.1 : Eprouvette de traction prismatique.....	26
Fig II. 2 : Courbe conventionnelle de traction (efforts-allongements).....	27
Fig.II.3 : Eprouvette de traction utilisée.....	29
Fig.II.4: (a)Fibres de jute et de luffa ; (b) Résine = Epoxy (75%) + Durcisseur (25%).....	30
Fig.II.5: Etapes de fabrication de la plaque.....	31
Fig.II.6 : Machine scie circulaire.....	32
Fig.II.7 : la plaque avant et après le découpage.....	32
Fig.II.8 : Machine CNC.....	32
Fig.II.9 : Eprouvette après l'usinage.....	33
Fig.II.10 : Echantillons à l'intérieur de l'étuve.....	33
Fig.II.11 : Machine de traction TEST.....	33

CHAPITRE III

RESULTATS EXPERIMENTAUX OBTENUS ET DISCUSSION

Fig III.1 : Courbe de traction (contrainte- déformation) Jute 5% Luffa 10 %.....	36
Fig III.2 : Courbe de traction (contrainte- déformation) Jute 10 % Luffa 5 %.....	36
Fig III.3 : Courbe de traction (contrainte- déformation) Jute 10 % Luffa 15 %.....	37
Fig III.4 : Courbe de traction (contrainte- déformation) Jute 15% Luffa 10 %.....	37
Fig III.5 : Courbe de traction (contrainte- déformation) Jute 15 % Luffa 5 %.....	38
Fig III.6 : Courbe de traction (contrainte- déformation) Jute 5 % Luffa 15 %.....	38
Fig III.7 : Histogramme de la variation du module d'élasticité longitudinale (module de Young) en fonction de la teneur en jute/luffa.....	42
Fig. III. 8 : Histogramme de la variation de la résistance à la rupture en fonction de la teneur en jute/luffa.....	43
Fig.III.9 : Histogramme de la variation de l'allongement A % en fonction de la teneur en jute/luffa.....	43
Fig.III.10 : Histogramme de la Variation du coefficient de striction Z% en fonction de la teneur en jute/luffa.....	44

Liste des Tableaux

CHAPITRE I :

NOTIONS FONDAMENTALES SUR LES MATERIAUX COMPOSITES

Tableau I.1. Caractéristiques des thermoplastiques les plus communs.....	6
Tableau I.2. Caractéristiques mécaniques des résines thermodurcissables.....	7
Tableau I.3. Caractéristiques des résines époxydes.....	7
Tableau I.4. Propriétés des résines polyester.....	8
Tableau I.5. Caractéristiques des résines de condensation.....	8
Tableau I.6. Différents types de fibres de verre filables.....	9
Tableau I.7. Caractéristiques mécaniques des fibres de carbone.....	10
Tableau I.8. Les caractéristiques physico-mécaniques de quelques fibres végétales	17

CHAPITRE 02

DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX ET TECHNIQUES DE MESURE

Tableau II. 1 : Vitesse de sollicitation en traction de différents.....	28
--	----

CHAPITRE III

RESULTATS EXPERIMENTAUX OBTENUS ET DISCUSSION

Tableau III.1: Les mesures échantillon avant essais de traction.....	39
Tableau III.2: Les mesures échantillon essais de traction.....	40
Tableau III.3: Coefficient de striction (Z%):.....	40
Tableau. III.4: Caractéristiques mécaniques en fonction teneur jute/luffa.....	41

Introduction générale

Introduction générale

Dans le domaine de l'ingénierie des matériaux, les composites occupent une place prépondérante en raison de leurs propriétés spécifiques et de leur adaptabilité à diverses applications. Les matériaux composites, constitués de deux phases distinctes, offrent une combinaison unique de légèreté, de résistance mécanique et de durabilité, les rendant particulièrement attractifs dans des domaines tels que l'aérospatiale, l'automobile, la construction et bien d'autres.

Ce mémoire se concentre sur l'étude des propriétés mécaniques d'un composite hybride particulier, à savoir le composite luffa/jute. Ce choix est motivé par l'intérêt croissant pour les matériaux composites à base de fibres naturelles, en raison de leur caractère renouvelable, de leur faible coût et de leur impact environnemental réduit par rapport aux composites traditionnels à base de fibres synthétiques. Le luffa et le jute, deux fibres naturelles largement disponibles, offrent des perspectives prometteuses en tant que renforts dans les composites, présentant un potentiel pour améliorer les performances mécaniques tout en conservant une empreinte environnementale favorable.

L'objectif principal de cette étude est d'analyser l'effet de la teneur des renforts jute et luffa sur les propriétés mécaniques du composite. La vitesse de traction pour tous les essais est constante 2mm/min.

Ce mémoire est organisé en plusieurs chapitres.

Tout d'abord, le Chapitre 01 présente les notions fondamentales sur les matériaux composites, en détaillant les composants, les classifications et les méthodes de fabrication.

Ensuite, le Chapitre 02 décrit les dispositifs expérimentaux et les techniques de mesure utilisés dans cette étude, mettant en lumière les procédures d'essai de traction et de préparation des échantillons.

Les résultats expérimentaux obtenus et leur discussion sont présentés dans le Chapitre 03, suivi d'une conclusion générale mettant en évidence les principales conclusions de cette recherche ainsi que ses implications pratiques et ses perspectives futures.

CHAPITRE I
NOTIONS FONDAMENTALES SUR LES
MATERIAUX COMPOSITES

I- Introduction

L'objectif de ce chapitre est d'apporter des connaissances sur les matériaux composites par une description de leurs constitutions, de leurs structures et de leurs propriétés. Les matériaux composites sont des structures fabriquées en combinant deux ou plusieurs matériaux ayant des propriétés différentes pour créer un matériau ayant des performances supérieures à celles de ses composants individuels. Cette combinaison permet de tirer parti des forces de chaque matériau tout en minimisant leurs faiblesses,

Les matériaux composites trouvent une multitude d'applications dans divers secteurs industriels tels que l'aérospatiale, l'automobile, le génie civil et bien d'autres, là où des performances exceptionnelles sont indispensables. Dans cette série consacrée aux composites, nous examinerons de près les différents types de matériaux, leurs processus de fabrication, leurs caractéristiques distinctives et leurs utilisations concrètes.

I.1-Définition d'un matériau composite

Les matériaux composites sont constitués de l'assemblage de deux matériaux de natures différentes se complétant et permettant d'aboutir à un matériau dont les performances sont supérieures à celles des composants pris séparément [1]. D'une manière générale, on distingue deux phases, la phase discontinue, appelée renfort ou matériau renforçant, est habituellement plus dure avec des propriétés mécaniques supérieures à celles de la phase continue, appelée matrice [2].

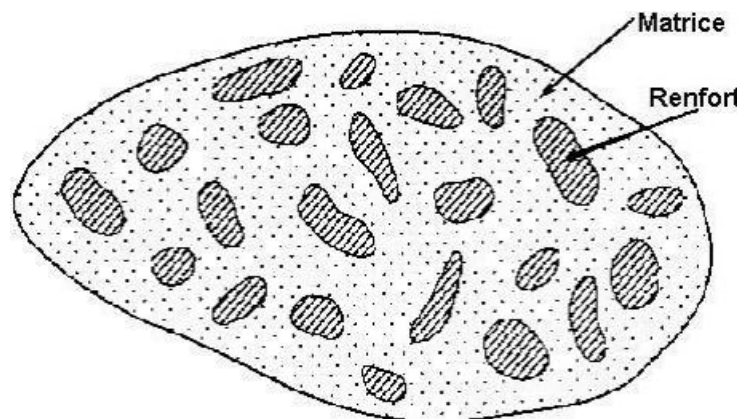


Fig.I.1. Schéma illustratif d'un matériau composite.

I.2-Constituants principaux d'un matériau composite

Nous exposons les divers composants d'un matériau composite utilisés dans l'industrie. La matrice joue un rôle crucial en assurant à la fois la protection chimique et la répartition de la charge mécanique appliquée à la structure. Quant au renfort, il se manifeste à travers des fibres, continues

ou discontinues, dont la fonction principale est d'assurer la résistance mécanique du matériau composite. Ces deux éléments principaux reçoivent des additifs ou charges qui sont des produits qui peuvent être incorporés à la résine pour lui conférer des caractéristiques particulières ou en réduire le coût (catalyseur, durcisseur etc.) [3].

I.2.1- Matrice

La matrice a pour rôle de lier les fibres renforts, répartir les contraintes sollicitées (résistance à la compression ou à la flexion), la tenue chimique de la structure et de donner la forme désirée au produit. Par définition, c'est un polymère ou une résine organique La matrice est facilement déformable et assure la protection chimique des fibres [4].

I.2.1.1-Types des matrices

Les différents types des matrices dans l'organigramme sont présentés dans la figure I. 2.



Fig. I.2. Types de matrice [5].

Parmi les résines, il en existe deux types les plus utilisées :

I. 2.1.1- Thermoplastiques

Les thermoplastiques présentent une structure ramifiée ou moléculaire linéaire dont les liaisons de type Van der Waals sont de faible niveau énergétique. Ils possèdent ainsi théoriquement la propriété de pouvoir être mis en forme plusieurs fois par chauffage et refroidissement successifs, s'adoucissent à la chaleur sans se détruire. Cette qualité rend les thermoplastiques potentiellement recyclables [6].

Les thermoplastiques sont de plus en plus prépondérants dans la production de matériaux composites. Leur attrait réside dans leur aspect économique et leur moindre impact environnemental lors de leur transformation. En outre, ils présentent une résistance appréciable aux chocs et permettent des cadences de production élevées grâce à des cycles relativement courts. [7].

La connaissance de ces températures de transition est primordiale, Le tableau (I.1) regroupe certaines propriétés physico-mécaniques des thermoplastiques les plus utilisés.

Résine	Densité ρ	Température de transition vitreuse T_g (°C)	Température de fusion T_f (°C)	E (Gpa)	σ_r (Mpa)
Polypropylène	0,92	5	165	1,2	30
Polyéthylène basse densité	0,92-0,94	-100	105-125	0,2-0,6	8-26
Polyéthylène haute densité	0,95-0,96	-115	130	1,06-1,09	22-31
Poly(chlorure de vinyle)	1,39	75-105	160-220	2,9	58
Polystyrène	1,05	90-100	-	3,2	55
Polyamide	1,02-1,18	37-90	176-295	2	70
Poly(acide lactique)	1,1-1,3	50-60	150	3-4	35-60
Poly(phényl-ène-sulfid)	1,9-2	88-93	285	4	65
Poly(éthercétone)	1,27-1,32	143-157	334	4	90
Poly(étherimide)	1,27-1,3	215	-	3,5	105

Tableau I.1. Caractéristiques des thermoplastiques les plus communs [6]
(E : module d'élasticité à la traction ; σ_r : contrainte de rupture à la traction).

I. 2.1.2-Thermodurcissables

Les résines thermodurcissables ont des propriétés mécaniques élevées. Ces résines ne peuvent être mises en forme qu'une seule fois. Elles sont en solution sous forme de polymère non réticulé en suspension dans des solvants [8]. Les résines thermodurcissables et leurs propriétés mécaniques principales sont illustrées dans le tableau I.2.

Résine	P [Kg.m2]	E [Mpa]	G [Mpa]	ν	σ_r [Mpa]	A [%]
Epoxyde	1200	4500	1600	0.4	130	2
Phénolique	1300	3000	1100	0.4	70	2.5
Polyester	1200	4000	1400	0.4	80	2.5
Polycarbonate	1200	2400		0.35	60	
Vinylesters	1150	3300			75	4
Silicone	1100	2200		0.5	35	
Uréthane	1100	700-7000			30	100
Polyimide	1400	(4-19)10 ³	1100	0.35	70	1

Tableau I.2. Caractéristiques mécaniques des résines thermodurcissables [9].

I.2.1.3- Les résines époxydes

Les résines époxydes sont largement privilégiées en raison de leurs excellentes propriétés mécaniques, ce qui leur permet d'être utilisées sans l'ajout de charges supplémentaires. Elles présentent des performances élevées, mais nécessitent des temps de transformation et de recuisson considérables, s'étalant sur plusieurs heures voire plusieurs jours, à des températures comprises entre 50 et 100°C. [11].

Le tableau I.3 présente les avantages et les inconvénients des résines époxydes.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Bonne résistance mécanique, thermique, chimique et fatigue. - Faible retrait (1 à 2 %). - Excellente adhérence sur fibres. - Mise en œuvre facile, sans solvant. 	<ul style="list-style-type: none"> - Prix élevé. - Sensibilité à l'humidité. - Vieillessement sous température. - Sensibilité aux chocs. - Temps de polymérisation assez long.

Tableau I.3. Caractéristiques des résines époxydes [9].

I. 2.1.4- Les résines polyester

Ces résines sont les plus utilisés dans le monde des matériaux composites à cause de leur faible cout de production [10]. Elle est composée à partir de plusieurs produits chimiques tels que les diluants réactifs et les inhibiteurs de réaction [12]. Les propriétés des résines polyester sont résumées dans le tableau I.4.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">- Facilité de mise en œuvre- Bonne tenue chimique- Prix faible- Bon accrochage sur la fibre de verre	<ul style="list-style-type: none">- Retrait important (6 à 7% en volume)- Sensibilité à la chaleur- Peu d'absorption d'humidité- Durée de conservation limitée

Tableau I.4. Propriétés des résines polyester.

I.2.1.5- Les résines de condensation :

Les résines de condensation comportent les résines phénoliques, les aminoplastes. Les résines phénoliques sont les plus anciennes des résines thermodurcissables dont la plus connue est la bakélite [13]. Leurs avantages et défauts sont présentées dans le tableau I.5.

Avantages	Défauts
<ul style="list-style-type: none">- excellente stabilité dimensionnelle- bonne tenue à la chaleur.- bonne résistance aux agents chimique- faible retrait- bonnes caractéristiques mécaniques- cout faible	<ul style="list-style-type: none">- mise en œuvre sous pression.- résines de couleurs foncées- non adaptation aux utilisations alimentaires

Tableau I.5. Caractéristiques des résines de condensation.

I.2.2- Renfort

Les renforts en fibres sont légers, rigides et résistants, ce qui assure une grande rigidité et une meilleure résistance aux composites [14].

I.2.2.1-Types des renforts

Les différents types des renforts sont cités dans l'organigramme (Fig.I.3) ci-dessous :

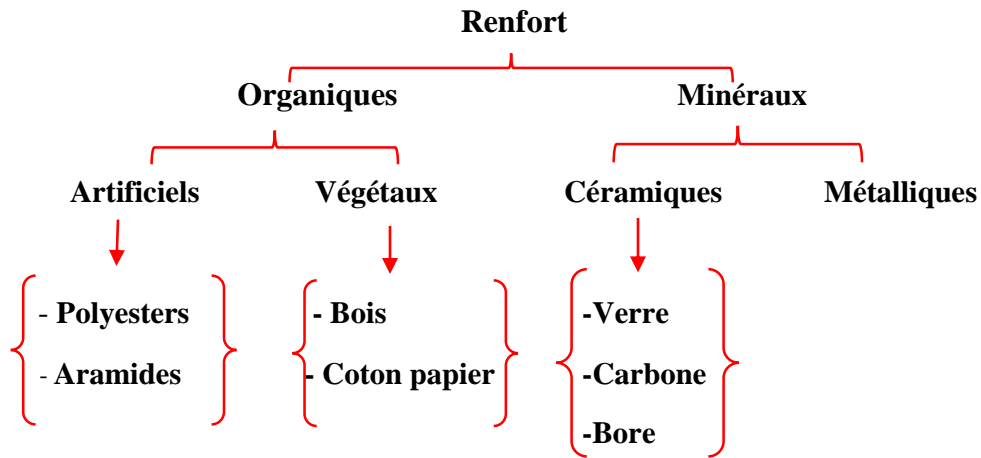


Fig.I.3. Types des renforts [4].

I.2.2.1- Les fibres de verre

Les fibres de verre se distinguent par leur excellent rapport qualité-prix, ce qui en fait le principal choix de renfort dans la construction de structures composites aujourd'hui. Elles sont largement utilisées comme renfort principal dans les composites les plus répandus. Leur fabrication implique l'utilisation de sable (silice) et d'additifs tels que l'alumine, le carbonate de chaux, la magnésie et l'oxyde de bore [2]. On distingue plusieurs types (tableau I.6).

Type	Caractéristique générales
E	A usage général, bonne propriétés mécaniques
D	Hautes propriétés électriques
A	Hautes tenurs en alkali
C	Bonne résistance chimique
R,S	Haute résistance mécanique

Tableau I.6. Différents types de fibres de verre filables [15].

I. 2.2.2- les Fibres de carbone

Les fibres de carbone ont de très fortes propriétés mécaniques et sont élaborées à partir d'un polymère de base, appelé précurseur. Actuellement, les fibres précurseurs utilisées sont des fibres

acryliques élaborées à partir, du polyacrylonitrile (PAN). La qualité des fibres de carbone finales dépend fortement des qualités du précurseur [16].

Il existe différents traitements de surface pour les fibres de carbone (tableau I.7).

Caractéristique	Fibres HR	Fibres HM	Fibres IM
Résistance en traction (MPa)	3400-4500	2000-2500	4800
Module en traction (GPa)	230-250	390-450	296
Allongement à la rupture (%)	1.4-1.8	0.5-0.6	2
Résistance en compression(MPa)	2200-2800	1300-1700	-

Tableau I.7. Caractéristiques mécaniques des fibres de carbone [17].

I. 2.2.3- Les Fibres aramides

Les fibres aramides à caractéristiques mécaniques élevées sont généralement connues sous le nom de "KEVLAR"[18]. La fibre d'aramide (Fig.I.4). est issue de la chimie des polyamides aromatiques. Il est possible de trouver deux types de fibres d'aramide de rigidités différentes :

- Les fibres à basse module : utilisées pour les câbles et les gilets pare-balles.
- Les fibres à haute module : employées dans le renforcement pour les composites hautes performances.



Fig.I.4. Fibre d'aramide.

I.3-Les charges et additifs

Différents produits peuvent être incorporés à la résine pour améliorer les caractéristiques physiques et mécaniques du produit fini et faciliter la mise en œuvre [18].

I.3.1- Les Charges :

I.3.1.1- Charges renforçantes :

L'objet de l'incorporation de charges renforçantes est d'améliorer les caractéristiques mécaniques de la résine.

I.3.1.2- Charges non renforçantes :

Les charges non renforçantes ont pour rôle soit de réduire le coût des résines en conservant leurs performances des résines et améliorer certaines propriétés [19].

I.3.2- Les Additifs :

Ils sont ajoutés à faibles quantités, et interviennent comme [20].

- Lubrifiants et agents de démoulage
- Agents anti-retraits
- Pigments et colorant
- Agents anti-ultraviolets

I.3.2.1- Les lubrifiants et agents de démoulage :

Ils sont utilisés pour faciliter le façonnage de la résine et réduire sa tendance à adhérer aux moules et mandrins [21].

I.3.2.2- Les pigments et colorants :

Les pigments sont des produits insolubles se présentant sous forme de poudres ou de paillettes. Ils sont obtenus à partir d'oxydes ou de sels métalliques. A partir de ces pigments, il est possible d'obtenir des pâtes colorantes constituées de disparitions de pigments dans une pâte, pour une utilisation aisée. Les colorants sont des composés organiques solubles dans un solvant adapté [22].

Les colorants sont des composés organiques solubles dans l'eau ou dans un solvant organique. Le choix d'un pigment ou d'un colorant est fonction de sa compatibilité avec la résine du composite et de l'utilisation du matériau composite [19].

I.3.2.3- Les agents anti-retraits :

Ces agents anti-retraits sont solubles dans la composition résineuse liquide comprenant le polyester insaturé et le monomère copolymérisable avec polyester insaturé, et engendrent des micro-vides dans la matrice organique réticulée afin de compenser le retrait [23].

I.3.2.4- Les agents anti-ultraviolets :

Les agents anti-ultraviolets ont pour fonction de protéger les résines contre l'action des rayons ultraviolets contenus dans le rayonnement solaire. Le principe de ces agents est d'absorber le rayonnement ultraviolet et d'éviter ainsi une détérioration prématurée de la résine par rupture de liaisons atomiques ou par passage à un état excité qui favorise l'oxydation [24].

I.4- Classification des matériaux composites :

Les matériaux composites, selon le type du renfort utilisé, peuvent être classés en trois grands groupes :

- matériaux composites renforcés par des particules
- matériaux composites renforcés par des fibres
- matériaux composites structuraux

Chacun de ces grands groupes comporte des sous-groupes. La figure I.5 illustre les différents types des matériaux composites [25].

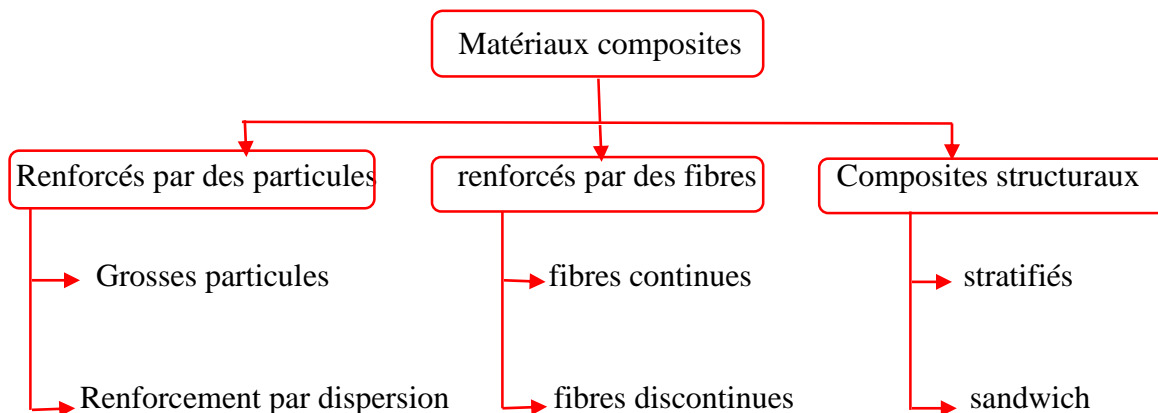


Fig.I.5. Classification des matériaux composites.

I.4.1- Renforcés par des particules :

Ils sont composés de particules uniformément dispersées d'un matériau dur et cassant, entouré d'une matrice plus souple et ductile [26].

I.4.2- Renforcés par des fibres :

Ce sont les composites les plus importants du point de vue technologique. Leur objectif est d'obtenir des matériaux présentant une résistance à la fatigue et une rigidité élevées à basse et haute température. En même temps, une faible densité est recherchée, afin d'obtenir un meilleur rapport résistance et poids.

I.4.3- Composites structuraux :

Ils sont constitués à la fois de matériaux composites et de matériaux homogènes. Leurs propriétés dépendent non seulement des matériaux constitutifs mais aussi de la géométrie de la conception des éléments structurels [26].

I.5- Les fibres naturelles :

En général les fibres naturelles sont classées en trois grands groupes selon leur origine. La plupart des fibres naturelles sont d'origines animales, végétales et minérales (Fig.I.6).

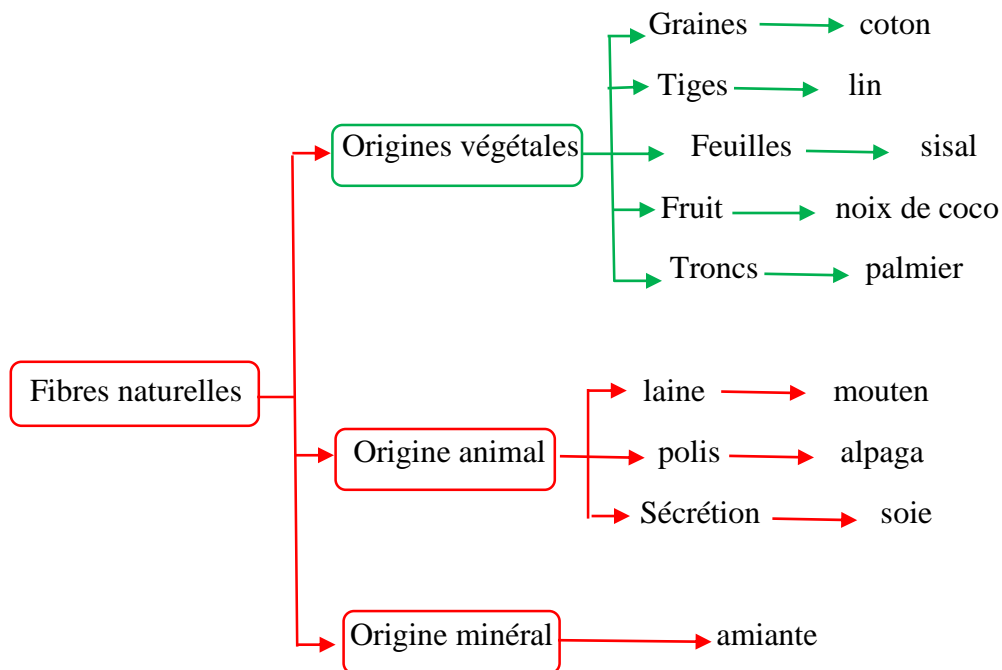


Fig.I.6. Classification des fibres naturelles en fonction de leur origine [27].

I.5.1- Origine animale :

Les fibres animales sont composées de protéines (kératine s'il s'agit de laine, fibroïne s'il s'agit de soie). La fibre animale la plus utilisée est la fibre de laine grâce à ses propriétés d'isolation thermique, son bon pouvoir absorbant (16% à 18%) et son importante élasticité (45%). Les fibres protéiniques peuvent être classées selon leur provenance en deux familles (Fig. I.7) : des poils issus de la toison des différents mammifères (poils de mouton, chèvre, Chameau, alpaga, lapin). Des sécrétions comme la soie issue de la bave du ver à soie (*bombyx mori*), les fils d'araignée, etc [28].



Fig. I.7. Fibre naturelles animales.

I.5.2- Origine minérale :

L'amiante est la seule fibre minérale naturelle, il a attiré l'attention des industriels pour sa résistance à la chaleur, au feu, aux agressions électriques et chimiques et pour son pouvoir absorbant, il a été utilisé pour les patins de freins ou en garniture de chaudières ou fours électriques ou encore dans diverses installations électriques [29].

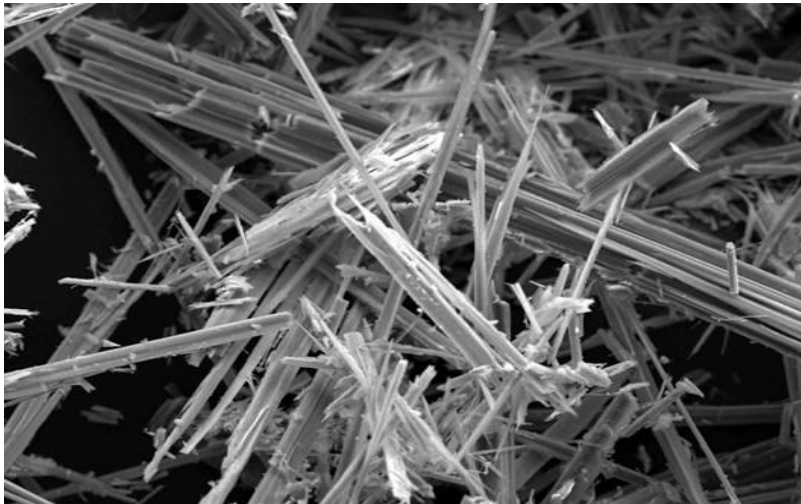


Fig. I.8. Fibres d'amiante observées au microscope.

I.5.3- Origines végétales :

Les fibres végétales se présentent comme des structures biologiques en forme de filaments, constituées principalement de cellulose, d'hémicelluloses et de lignine, accompagnées d'une faible proportion d'autres composés tels que des extraits non azotés, des protéines brutes, des lipides et des minéraux. Ces proportions varient considérablement en fonction de l'espèce végétale, de son stade de croissance et des parties de la plante concernée. [9].

I.5.3.1- Fibre de jute :

A titre d'exemple, on peut citer :

La fibre de jute provient de l'écorce des plantes *Corchorus capsularis* ou *Corchorus olitorius* (Fig. I.9), récoltée par les travailleurs sur le terrain. Cette fibre est ensuite acheminée vers des usines où elle est transformée pour être utilisée dans la confection de vêtements et de produits industriels. La fibre de jute est largement répandue dans différents secteurs [30].



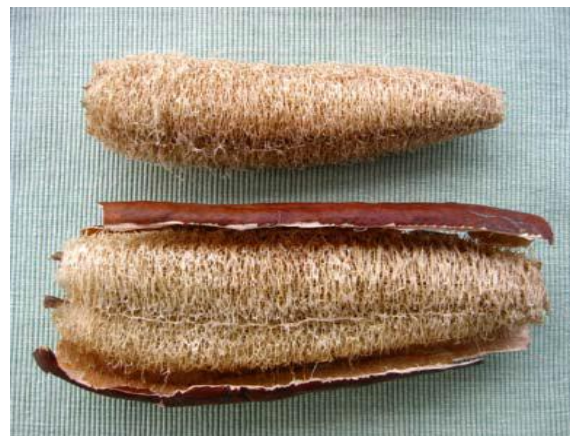
Fig. I.9. Fibre de jute.

I.5.3.2- Luffa :

Luffa cylindrica (LC) est une plante tropicale appartenant à la famille des Cucurbitacées, dont le fruit possède un filet ressemblant à des fibres. La figure I.10 (a) et (b) montrent le luffa plante cylindrica avec des fruits et des fruits de luffa séchés avec respectivement une couche externe partiellement retirée.



(a)



(b)

Fig. I.10. (a) Fruit de luffa cylindrica ; (b) Fruit de luffa séché dont la couche externe a été partiellement retirée.

I.5.4- Classification des fibres végétales :

Les fibres végétales sont classées en quatre groupes suivant leur provenance à savoir :
De tiges, les fibres de feuille, de bois et de surface

I.5.4.1- Les fibres des feuilles :

Ces fibres sont obtenues grâce au rejet des plantes monocotylédones. Les fibres sont fabriquées par chevauchement de paquet qui entoure le long des feuilles pour les renforcer ces fibres sont dures et rigides les types de fibres de feuilles les plus cultivées sont la fibre de sisal, d'abaca [24].

I.5.4.2- Les fibres des tiges :

Les fibres de tige sont obtenues dans les tiges des plantes dicotylédones. Elles ont pour rôle de donner une bonne rigidité aux tiges de plantes. Les fibres de tige les plus utilisées sont les fibres de lin, de kénaf et de chanvre [31].

I.5.4.3- Les fibres de bois :

Les fibres de bois proviennent du broyage des arbres tels que les bambous ou les roseaux. Elles sont généralement courtes [24].

I.5.4.4- Les fibres de surface :

Les fibres de surface entourent en général la surface de la tige, de grains ou de fruits. Les fibres de surface des grains constituent le groupe le plus important dans cette famille de fibres. Nous citons entre autres la noix de coco et le coton [32]. Les plus utilisées sont les fibres libériennes, comme, le jute, le Kenaf, le palmier, la ramie et surtout le chanvre et le lin.

I.5.5- Caractéristiques d'une fibre végétale :

Une fibre végétale est caractérisée par sa finesse et sa forme allongée par rapport à son diamètre. La plupart des fibres végétales mesurent entre 10 et 150 mm de long pour un diamètre de 10 à 50 micromètres, soit un rapport longueur sur diamètre compris entre 10 et 100 [31]. L'effet de ces avantages varie d'une fibre à une autre et dépend de la composition physique et chimique, le pourcentage de cellulose, la structure, l'angle micro fibrillaire, la section et le degré de polymérisation.

I.5.6- Propriétés physiques et mécaniques des fibres végétales :

Les fibres végétales sont anisotropes. Le rapport entre la rigidité longitudinale et la rigidité transverse est d'environ 10 selon l'origine et le mode de fabrication, les fibres de cellulose ont un diamètre allant de 15 à 30 μm . Elles sont très rigides et sont considérées comme de bons isolants acoustiques et thermiques [33]. On peut présenter des caractéristiques physiques et mécaniques de certaines fibres végétales dans le tableau I.8.

Fibre	Densité (g/cm³)	Module de traction (GPa)	Résistance en traction (MPa)	Allongement (%)
Jute	1,45	13-27	350-550	1,2-2,5
Kéna	1,47	6-8	1580	2,7
Chanvre	1,48	29-70	550-900	1,6-3,5
Lin	1,5	28	345-1100	2,7-3,2
Abaca	1,35	20	900	3,9
Sisal	1,45	9-20	400-700	2-14
Coco	1,15	4-6	130-120	15-40
Coton	1,5	5-12	300-800	3-10

Tableau I.8. Caractéristiques physico-mécaniques de quelques fibres végétales [31].

I.5.7- Structure d'une fibre végétale :

La fibre végétale est un composite en elle-même. Le renfort est constitué par les couches de microfibre cellulosiques en partie cristalline. Ce dernier est enrobé d'une matrice polysaccharidique amorphe (hémicellulose et pectine) qui est associée par liaison hydrogène et covalentes à la lignine [34].

La fibre végétale est composée de plusieurs parois parallèles à l'axe de la fibre et disposée en couche superposée dans le sens radial (Fig. I.11). Ces différentes couches qui forment la lamelle mitoyenne, la paroi primaire et la paroi secondaire. La paroi secondaire est composée de trois couches de micro fibrilles (S1, S2, S3) [35].

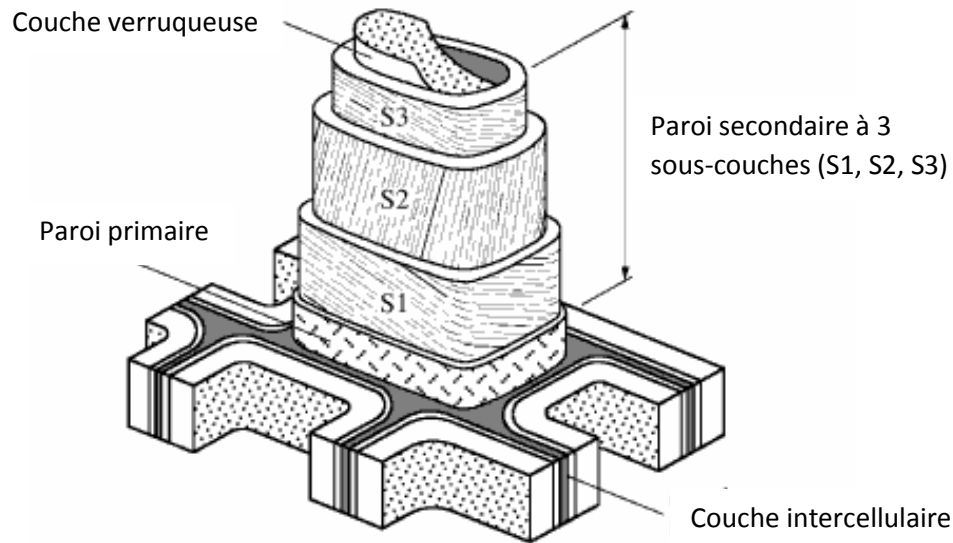


Fig. I.11 : Représentation schématique des différentes couches de la paroi cellulaire.

I.5.8- Composition chimique des fibres végétales :

La composition chimique des fibres végétales est formée de trois principaux constituants : la cellulose, l'hémicellulose et la lignine.

I.5.8.1- La cellulose :

La cellulose est une macromolécule constituée par une très longue chaîne stéréo régulière composée de maillons de glucose. (Figure I.12). Le motif de répétition est le dimère cellobiose. Le nombre de motifs de répétition ou le degré de polymérisation varie suivant l'origine de la cellulose. Ce polymère présente un grand intérêt du point de vue industriel puisque de nombreuses fibres (coton, chanvre, jute, lin...) sont composées de cellulose [32].

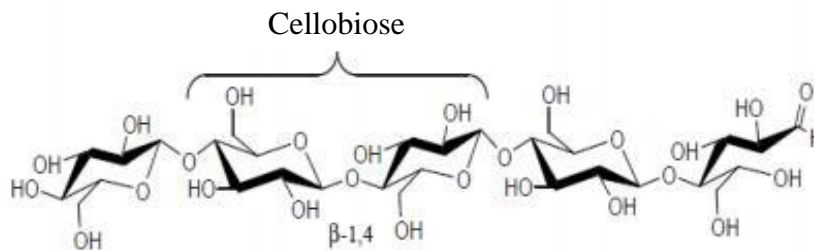


Fig.I.12. Molécule de cellulose (n répétitions du motif cellobiose) [32]

I.5.8.2- Les hémicelluloses :

Les hémicelluloses sont des polysaccharides pariétaux non cellulosiques extraits des végétaux. Elles constituent le principal liant dans la structure pariétale des végétaux en s'associant par liaisons hydrogènes aux micro fibrilles de cellulose et à la cellulose de la paroi cellulaire. L'hémicellulose est très hydrophile, soluble en milieu alcalin, et facilement hydrolysable dans les acides [31]. La variabilité des motifs monomères constitutifs de la chaîne principale : Glucose, galactose, arabinose, xylose, etc.

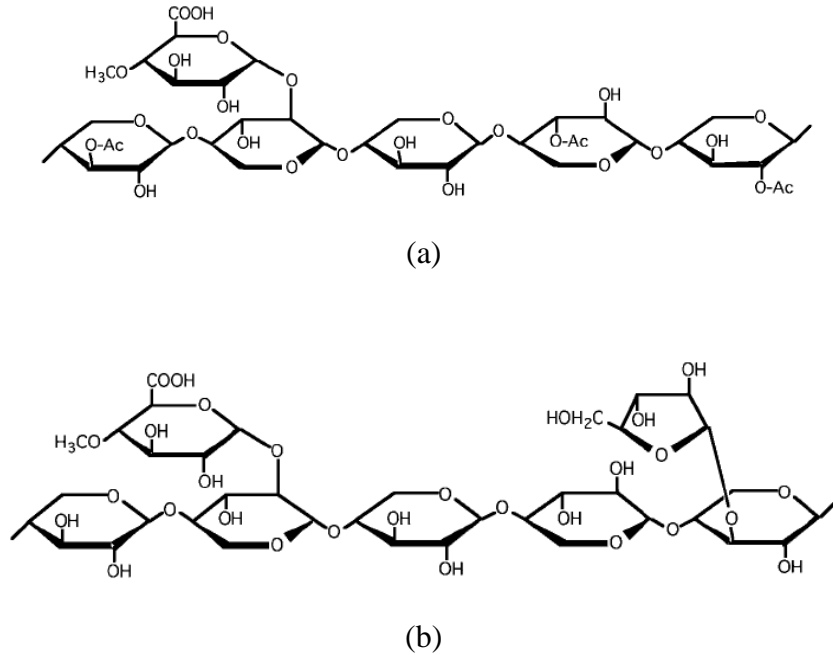


Fig.I.13. Structure chimique partielle de deux hémicelluloses : (a) O-acétyle-4 Ométhylglucuronoxylane de feuillus ; (b) Arabino-4-O-méthylglucuronoxylane de résineux [36].

I.5.8.3- La lignine :

La lignine est une macromolécule tridimensionnelle amorphe et partiellement hydrophobe ayant une masse moléculaire variable et pouvant être très élevée [37]. Elles sont composées de constituants aliphatiques et aromatiques. La polymérisation radicalaire de trois alcools phénylpropénoïques (l'alcool coumarylique, l'alcool coniférylique et l'alcool sinapylique), dont la structure dépend également de l'espèce végétale (Fig.I.14). On ne peut pas de ce fait leur attribuer une structure moléculaire définie [32].

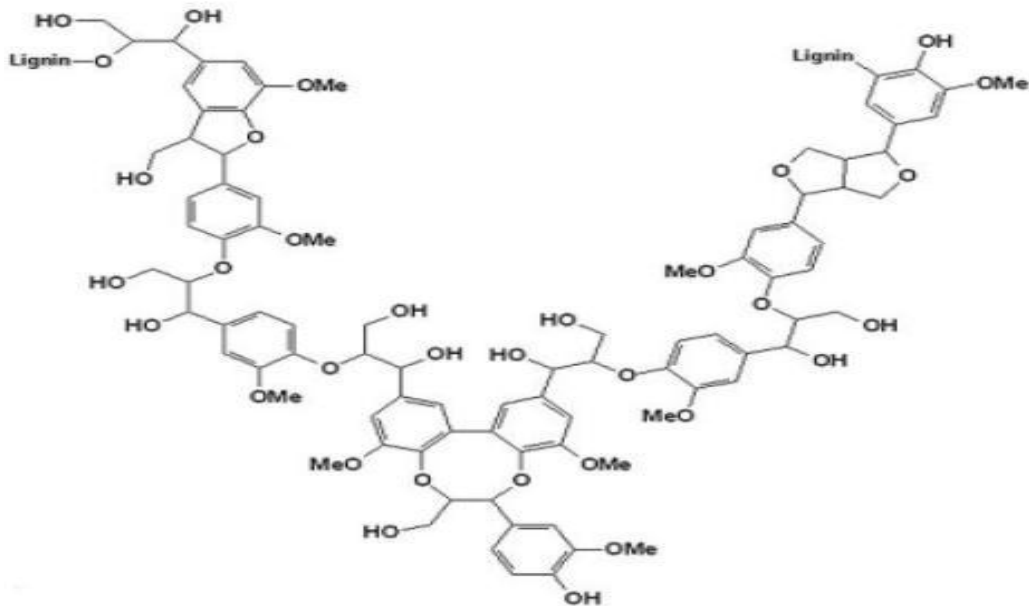


Fig.I.14. Représentation schématique de la lignine

I.6- Les fibres chimiques :

Ils se composent de deux types

I.6.1- Les fibres artificielles :

Les fibres artificielles proviennent de la transformation par la chimie de matériaux de base naturels (coton, bois) avant d'être produites sous forme de filaments et de fibres. Par exemple, la viscose-rayonne l'est à partir de matières végétales comme le bois, dont il y a extraction de la cellulose [38].

I.6.2- Les fibres synthétiques :

Les fibres synthétiques sont fabriquées avec des polymères de synthèse obtenus à partir de substances ou de composés fournis par l'industrie pétrochimique. Ces fibres, tout comme les fibres artificielles, sont obtenues par filage. Elles suscitent l'intérêt de beaucoup d'industriels pour leur faible coût, leur disponibilité et indépendance des saisons et surtout la possibilité de les adapter et modifier leurs propriétés, par contre, elles sont très critiquées à cause de ses difficultés de recyclage [39]. Et cela a un impact sur l'environnement comme le plastique.

I.6.3- Classification des fibres chimiques :

Se divisent en deux catégories :

Les fibres textiles artificielles et les fibres textiles synthétiques [40].

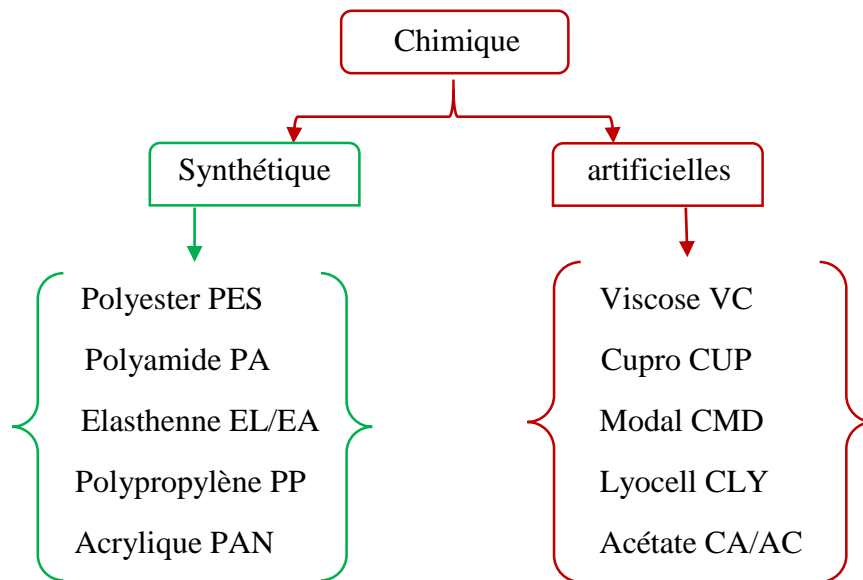


Fig.I.15. Classification les fibres synthétiques et artificielles.

I.7- Mise en œuvre des matériaux composites :

La plupart des méthodes de mise en œuvre des matériaux composites reposent sur la technique de stratification, elles consistent à élaborer les pièces par couches successives comportant matrice et renfort [41]. L'ensemble des procédés de fabrication par moulage tient compte de la nature des pièces, du prix de revient et du type de série de production

I.7.1- Moulage sans pression :

I.7.1.1- Moulage au contact :

Le principe est de procéder manuellement à la réalisation des pièces à partir des résines thermodurcissables, à température ambiante et sans pression. Les renforts sont déposés sur le moule et imprégnés de résine liquide, accélérée et catalysée (Fig.I.16). Après durcissement de la résine, la pièce est démoulée et détournée [17].

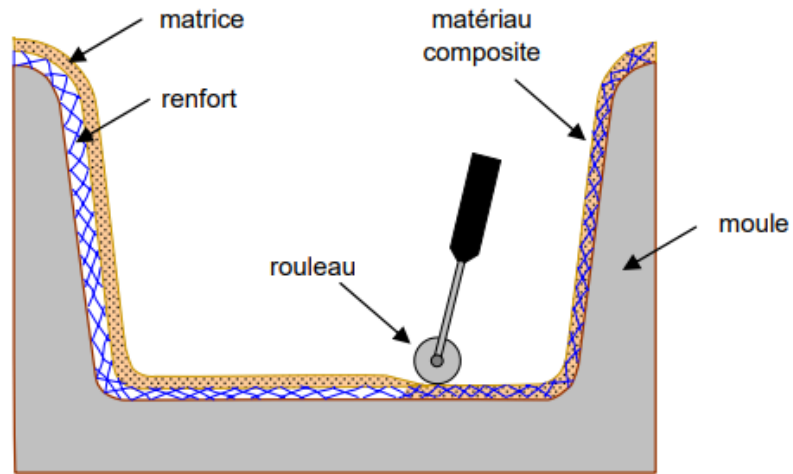


Fig.I.16. Systèmes Composites pour le Moulage au Contact

I.7.1.2- Moulage par injection simultanée :

Le moulage par projection simultanée est un procédé de moulage au contact mécanisé. On projette simultanément les fibres coupées et la résine catalysée par un pistolet sur le moule. Le renfort imprégné de résine est compacté par un rouleau cannelé et après gélification de la première couche on ajoute les couches suivantes [42].

On utilise le moulage par projection simultanée principalement dans l'industrie sanitaire (receveurs de douche, baignoires), dans la production de piscines, etc. Ce type de moulage est également parfait pour les éléments verticaux (Fig.I.17).

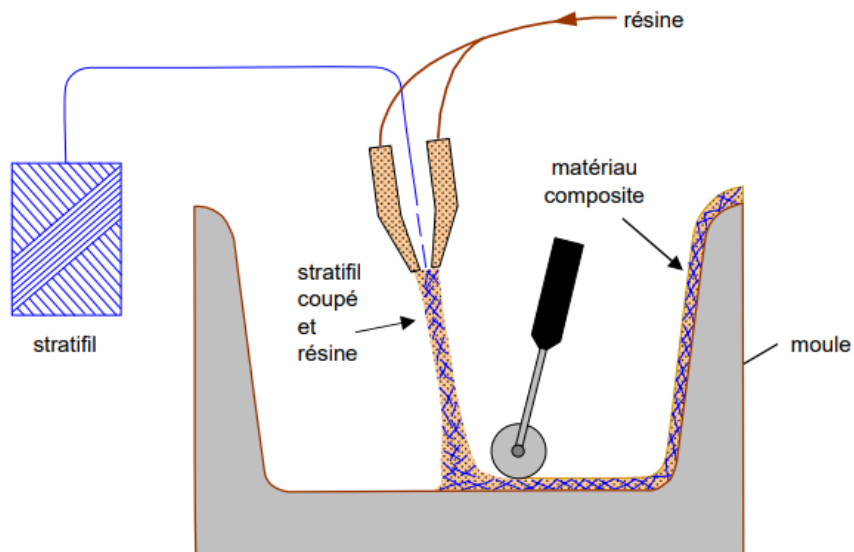


Fig.I.17. Principe du moulage par projection simultanée

I.7.2- Moulage par injection :

Le moulage par injection est la technique la plus répandue des méthodes de mise en œuvre des thermoplastiques armés (Fig.I.18). Procédé discontinu haute pression, alimentation et dosage du Compound, Injection-pression, maintien et polymérisation, puis éjection [43].

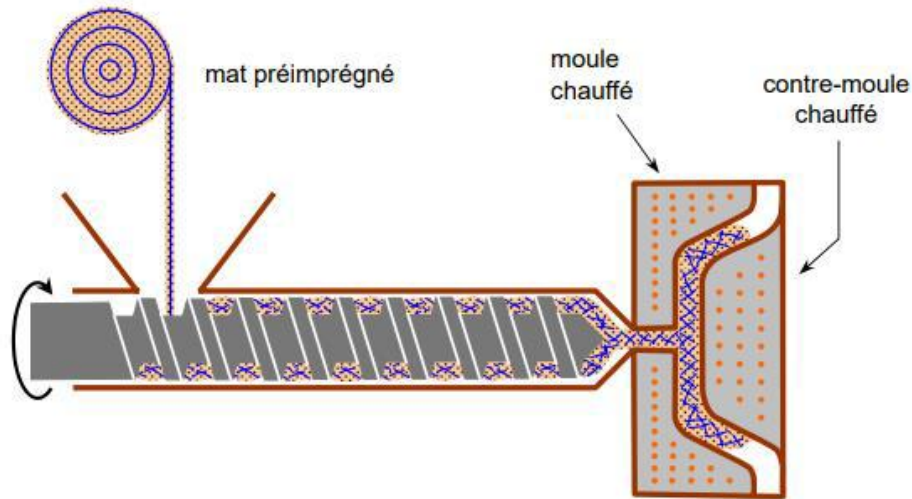


Fig.I.18. Principe du moulage par injection.

I.7.3- Moulage sous vide :

Sur un moule rigide couvert par du gel-coat on pose le renfort puis on étale une couche de résine, recouvrant le moule par un contre moule poreux et une membrane flexible (feuille de caoutchouc, Nylon etc.), puis on applique un vide entre zéro et un bar qui a pour but d'imprégner et débuller le renfort (Fig.I.19). Pour le moulage au sac sous vide on n'a besoin que d'un sac flexible pour recouvrir le moule [18].

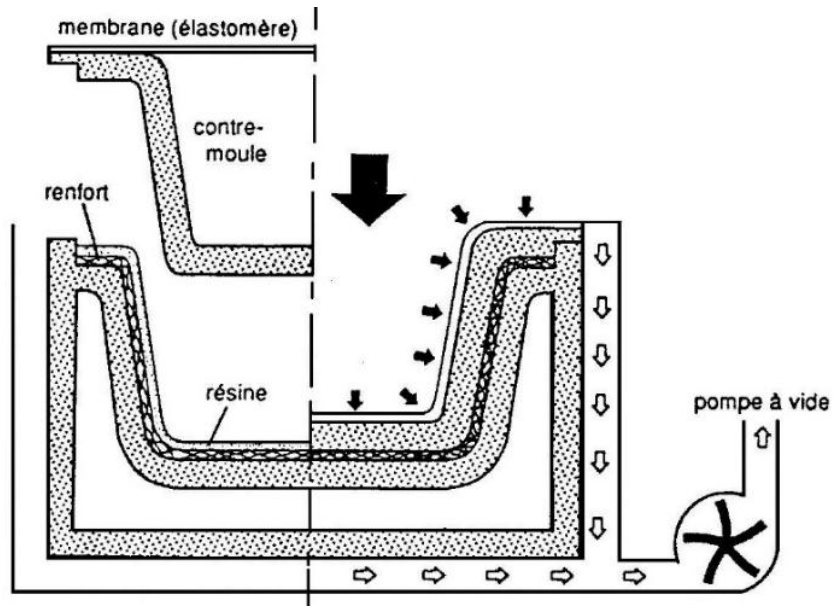


Fig.I.19. Moulage sous vide.

On utilise ce type de moulage dans le cas d'une production en petites séries de pièces nécessitant deux faces lisses.

CHAPITRE II
DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX ET
TECHNIQUES DE MESURE

Introduction :

Parmi tous les essais mécaniques, l'essai de traction est certainement l'essai le plus fondamental. Il sert à déterminer les principales caractéristiques mécaniques telles que le module de d'élasticité, le coefficient de poisson, la limite d'élasticité, la résistance à la rupture, l'allongement après rupture et le coefficient de striction [41]. D'où le choix du matériau des pièces d'un système mécanique dépend de ces propriétés mécaniques pour assurer le bon fonctionnement et la longue durée de vie possible des pièces.

Les essais mécaniques sont des expériences importantes dans le domaine des sciences de l'ingénieur dont l'objectif est de caractériser les lois de comportement des substances.

L'essai de traction permet de déterminer les propriétés mécaniques, couramment utilisé dans la résistance des matériaux RDM [42].

II.1- Principe d'essai de traction :

Le principe de l'essai de traction consiste à soumettre une éprouve du matériau à une force de traction et à mesurer l'allongement ΔL correspondant. L'éprouvette est maintenue dans les mâchoires de traction, avec une extrémité fixe et l'autre soumise à une force de traction progressive le long de son axe (traction uni axiale), jusqu'à ce qu'elle se rompe. Une jauge de déformation (extensomètre) mesure l'allongement. L'allongement est défini par la proportion d'étirement de l'éprouvette avant sa rupture [43].

II.2- Eprouvette d'essai de traction :

En utilisant des éprouvettes prismatiques (haltères), les normes nous obligent à respecter un rapport bien précis entre la longueur de référence, hauteur et largeur de la section droite de l'éprouvette.

Le dessin de l'éprouvette de traction est montré dans la (figure II.1).

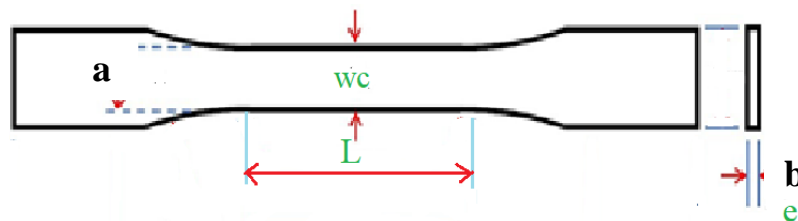


Fig.II.1 : Eprouvette de traction prismatique.

- Selon la norme ASTM-D638-03
- Sachant que la section : $S_0 = ab$

L'allongement de l'éprouvette peut être mesuré en enregistrant le déplacement relatif des têtes de serrage à coin.

II.3- Courbe de traction conventionnelle :

La courbe de traction conventionnelle est généralement utilisée pour représenter graphiquement la relation entre la force (F) exercée sur un objet et la distance (ΔL) parcourue par cet objet. La courbe obtenue à partir de l'enregistrement (F et ΔL).

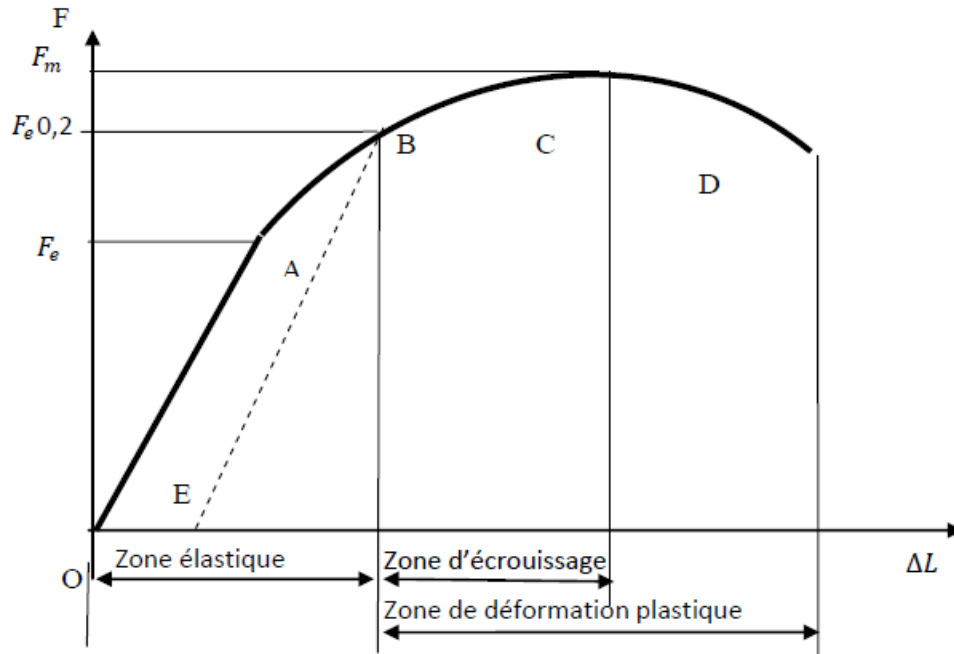


Fig II. 2 : Courbe conventionnelle de traction (efforts-allongements).

Effectué en cours d'essai en rapportant la force à la section initiale pour raisonner en termes de contrainte :

$$\sigma = F / S_0$$

F : force normale en N

S_0 : surface de la section en mm^2

σ : contrainte normale en MPa (N/mm^2).

En rapportant l'allongement à la longueur initiale pour raisonner en termes d'allongement relatif :

$$\varepsilon = \Delta L / L_0$$

ΔL : allongement absolu ou extension.

L_0 : longueur initiale de la poutre.

ε : allongement relatif (sans unité).

En résumé, la courbe de traction conventionnelle est un outil essentiel pour comprendre le comportement mécanique des matériaux sous contrainte.

II.4- Vitesses d'essai de traction :

La vitesse de traction, ou la vitesse à laquelle l'échantillon est tiré pendant l'essai, influence considérablement les résultats des propriétés mécaniques du matériau. Une vitesse de traction inadéquate peut entraîner des résultats non représentatifs des conditions réelles d'utilisation des matériaux composites. C'est une méthode de test utilisée pour mesurer la résistance à la traction d'un matériau. Ces vitesses peuvent varier en fonction du matériau testé.

Le tableau III.1 donne les valeurs de la vitesse de sollicitation en traction de différents matériaux [44].

Aciers	$V \leq 0.15 l_0$ (mm/min)
Aluminium	$V \leq 0.009 l_0$ (mm/min)
Cuivre	$V \leq 0.006 l_0$ (mm/min)

Une vitesse de traction typique utilisée dans les tests de traction se situe généralement entre 1 et 10 mm/min selon ASTM D3039 pour les composites polymères renforcés de fibres ou ISO 527-1 pour les plastiques.

Tableau III. 1 : Vitesse de sollicitation en traction de différents matériaux.

La machine enregistre une courbe et des valeurs donnant la charge de traction en fonction de déplacement des têtes d'amarrage (l'allongement de l'éprouvette).

II.5- Caractéristiques mécaniques :

II.5.1- Résistance à la rupture :

La résistance à la rupture est l'une des caractéristiques mécaniques les plus importantes mesurées lors d'un essai de traction. Elle représente la contrainte maximale qu'un matériau peut supporter avant de se rompre sous l'effet d'une charge de traction.

Cette contrainte maximale est exprimée en pascals (Pa) ou en mégapascals (MPa).

$$R_m = F_m / S_0$$

R_m : résistance à la traction en MPa ou N/mm^2

F_m : force maximale en N.

S_0 : surface de section en mm^2

II.5.2- Allongement :

L'allongement à la rupture lors d'un essai de traction est une mesure de la déformation subie par un matériau avant de se rompre sous tension. Il est généralement exprimé en pourcentage et représente la variation de longueur du matériau par rapport à sa longueur initiale avant qu'il ne se

fracture. C'est une caractéristique importante pour évaluer la ductilité et la capacité d'absorption d'énergie d'un matériau.

$$A\% = (L_U - L_o) / L_o \times 100.$$

L_U : longueur ultime (mesurée en raboutant les deux morceaux de l'éprouvette cassée).

L_o : longueur initiale ou référence (la distance entre deux repères tracés sur l'éprouvette avant l'essai).

II.5.3- Coefficient de striction (Z%) :

Le coefficient de striction lors d'un essai de traction est une mesure de la capacité d'un matériau à se réduire en diamètre au niveau de la section de rupture pendant l'essai. C'est une propriété importante pour évaluer la ductilité d'un matériau. Le coefficient de striction est calculé en mesurant le diamètre initial de la section de rupture et en le comparant avec le diamètre minimum atteint au point de rupture. Ce coefficient est généralement exprimé en pourcentage.

$$Z\% = (S_o - S_U) / S_o \times 100.$$

S_o : Section initiale (calculée en mm² sur l'éprouvette avant l'essai).

S_U : Section ultime (calculée en mm² à partir du diamètre mesuré à l'endroit de la cassure de l'éprouvette cassée)

II.5.4- Module d'élasticité longitudinale (Module d'Young) (E) :

Le module de Young ou module d'élasticité (longitudinale) ou encore module de traction est la constante qui relie la contrainte de traction (ou de compression) et la déformation pour un matériau élastique isotrope, La loi d'élasticité est la loi de Hooke :

$$E = \sigma / \varepsilon$$

E : est le module d'élasticité longitudinale,

σ : est la contrainte longitudinale,

ε : est la déformation longitudinale.

Le module de Young est souvent utilisé pour caractériser la rigidité des matériaux tels que les métaux, les plastiques et les composites dans des applications d'ingénierie et de conception. Il est généralement mesuré en pascals (Pa) ou en mégapascals (MPa).

II.6- Présentation des échantillons :

La forme géométrique et les dimensions en mm de l'éprouvette choisie (selon la norme ASTM-D638-03) sont représentées dans la figure III.4

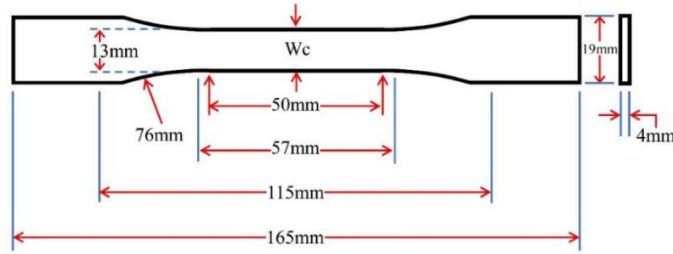


Fig II. 3 : Epreuve de traction utilisée.

II.7- Préparation des éprouvettes :

II.7.1- Introduction :

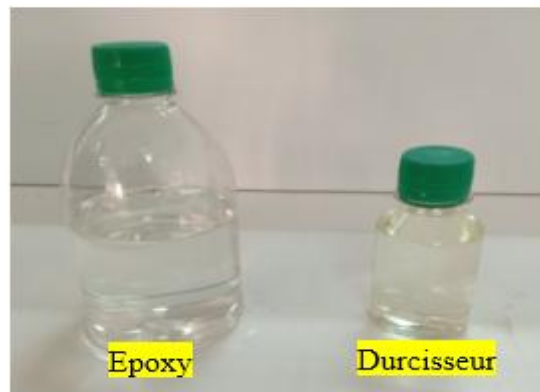
Avant d'entamer la fabrication des éprouvettes, on est obligé de justifier le choix des matériaux composites utilisés. Les matériaux composites hybrides à base de jute et luffa présentent plusieurs avantages et importances dans diverses applications industrielles et environnementales. Parmi les avantages, on peut citer : Les composites hybrides jute-luffa combinent les propriétés mécaniques de ces deux fibres naturelles, ce qui peut améliorer la résistance à la traction, la flexibilité et la durabilité du matériau. Le jute apporte une bonne résistance mécanique et des caractéristiques de durabilité, tandis que la luffa offre une légèreté et une structure alvéolaire qui peut améliorer l'absorption des chocs et la réduction du poids, ainsi que ces matériaux sont renouvelables, biodégradables

II.7.2- Fabrication de la plaque (Jute – Luffa) :

Nous avons fabriqué un moule en bois avec des dimensions convenables aux dimensions des éprouvettes du site d'étude et le graisser avec de la cire Colorado pour faciliter le démoulage de la plaque. Nous avons ajouté une couche de résine en poids (époxy 75% + 25% durcisseur) et les plis de fibre de jute et de fibre de luffa selon le taux désiré (figure II. 5)



(a)



(b)

Fig.II.4: (a)Fibres de jute et de luffa ; (b) Résine = Epoxy (75%) + Durcisseur (25%).

Nous avons rempli le moule par la résine époxy et exerce une pression pendant 48 heures par une presse.

Les étapes de fabrication de la plaque (Jute – Luffa) est illustrées dans la (figure II.6). Finalement on va extraire la plaque par son démoulage.



1



2



3



4



5



6

Fig.II.5: Etapes de fabrication de la plaque.

II.7.3- Usinage des éprouvettes :

Une machine scie circulaire est disponible au sein du laboratoire de sciences des matériaux, faculté de technologie à l'université de M'silla afin de découper la plaque (Jute – Luffa) en quatre échantillons (Fig. II.7) avant l'usinage final des éprouvettes selon la norme ASTM-D638-03. (Fig.II.8)



Fig.II.6 : Machine scie circulaire.

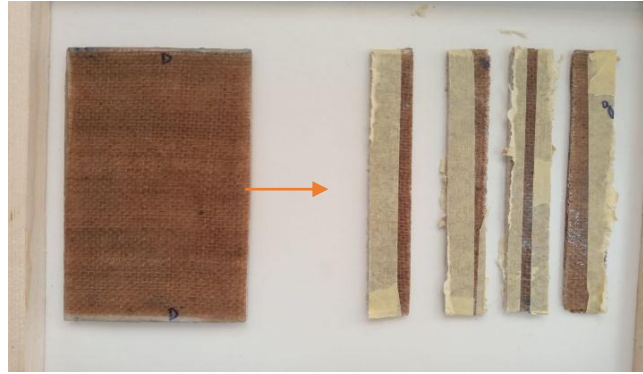


Fig.II.7 : la plaque avant et après le découpage.

Ensuite, nous mettons les éprouvettes sur la machine CNC, qui est disponible au Laboratoire de Science des Matériaux de la faculté de technologie de l'Université M'sila (figure II.9) pour l'usinage et l'obtention de la forme finale de l'éprouvette se la norme désirée (figure II.10).



Fig.II.8 : Machine CNC.



Fig.II.9 : Epreuve après l'usinage.

On applique un post durcissement des échantillons par l'échauffement à l'intérieur d'une étuve à la température 70 °C pendant 6 heures figure II.11



Fig.II.10 : Echantillons à l'intérieur de l'étuve.

II.8- Machine de traction :

Les essais de traction des échantillons sont effectués sur une machine d'essais universelle de type TEST de capacité maximale 10 KN. Elle est constituée d'une traverse inférieure fixe et d'une traverse supérieure mobile est pilotée par un ordinateur. Cette machine est disponible au sein du laboratoire de sciences des matériaux, faculté de technologie à l'université de M'silla. En proposant une vitesse de traction de 2 mm/min.



Fig.II.11 : Machine de traction TEST.

CHAPITRE III
RESULTATS EXPERIMENTAUX OBTENUS
ET DISCUSSION

III.1- Introduction:

La recherche d'une meilleure optimisation des propriétés mécaniques, conduit à une analyse de l'ensemble de ces propriétés à partir des essais mécaniques tels que les essais de traction.

Dans cette partie on s'est intéressé à l'étude des effets des vitesses de traction sur les propriétés mécanique d'un matériau composite hybride : jute /luffa

En effectuant des essais de traction, nous présentons nos résultats expérimentaux ainsi que leurs interprétations

III.2- Caractéristiques de traction :

Les courbes résultates de ces essais sont présentées sur les figures III.1 jusqu'à la figure III.6 par des courbes de traction (contrainte- déformation) avec les différentes teneurs des renforts jute et luffa à une vitesse de traction constante 2mm/min.

On remarque que toutes les courbes enregistrées après les tests de traction ont les mêmes allures et réfléchissent le comportement mécanique du matériau en traction.

La courbe de traction est souvent divisée en plusieurs phases distinctes, chacune reflétant différents aspects du comportement mécanique du matériau.

La première phase, la zone linéaire, correspond au domaine élastique où le matériau se déforme de manière réversible sous l'effet de la charge appliquée. Cette région est caractérisée par une relation linéaire entre la contrainte (force par unité de surface) et la déformation, conformément à la loi de Hooke.

Lorsque la contrainte dépasse un certain seuil, le matériau commence à se déformer de manière permanente, marquant le début de la déformation plastique. Cette transition est souvent indiquée par une inflexion dans la courbe de traction.

À mesure que la charge augmente, la déformation plastique se concentre dans certaines zones du matériau, généralement là où il y a des défauts ou des hétérogénéités microstructurales. Cela se manifeste par la formation de striction, où la section transversale de l'éprouvette se rétrécit.

Dans la phase finale, le matériau atteint sa limite de résistance maximale et commence à se déformer de manière significative dans la zone de striction. La force enregistrée diminue à mesure que la section transversale de l'éprouvette diminue, jusqu'à ce que finalement le matériau se rompe, marquant la fin de la courbe de traction.

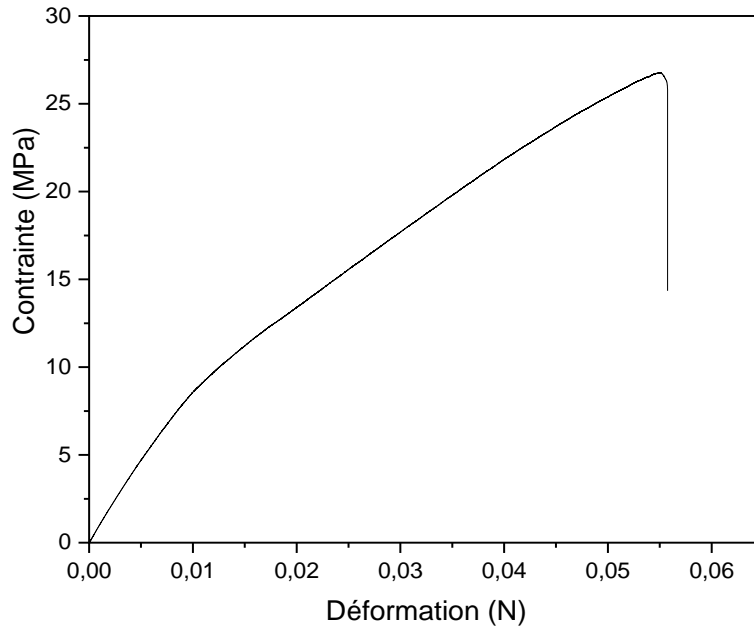


Fig III.1 : Courbe de traction (contrainte- déformation) Jute 5% Luffa 10 %

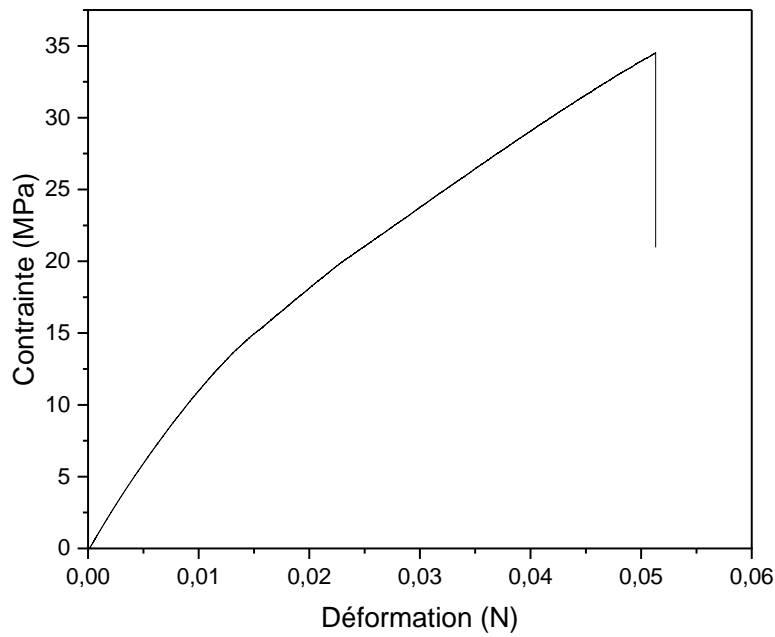


Fig III.2 : Courbe de traction (contrainte- déformation) Jute 10 % Luffa 5 %

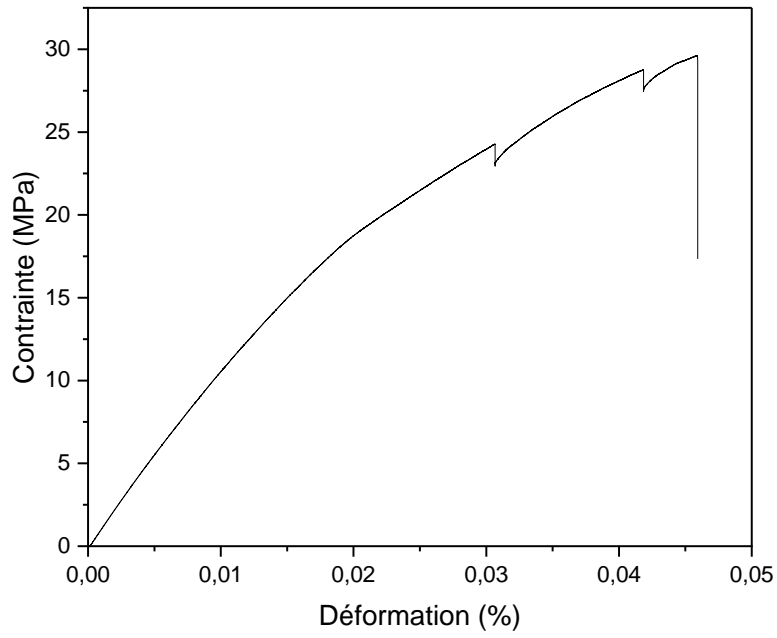


Fig III.3 : Courbe de traction (contrainte- déformation) Jute 10 % Luffa 15 %

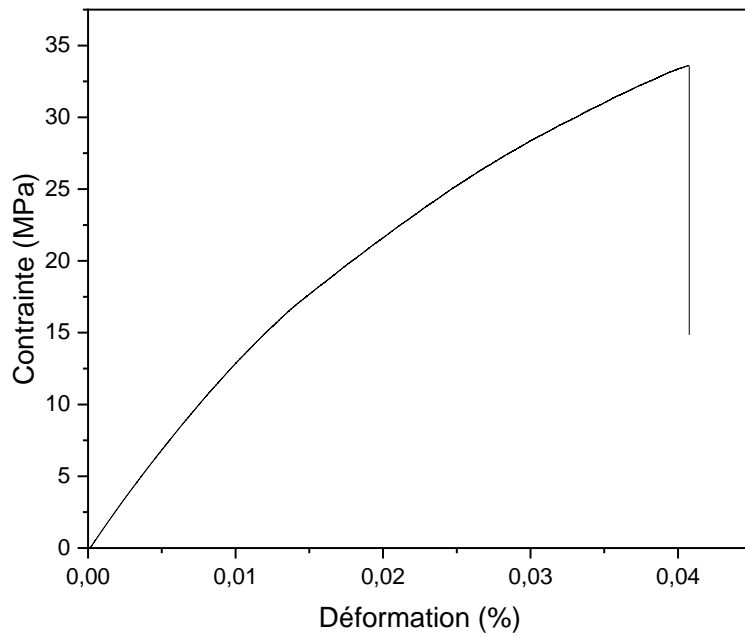


Fig III.4 : Courbe de traction (contrainte- déformation) Jute 15% Luffa 10 %

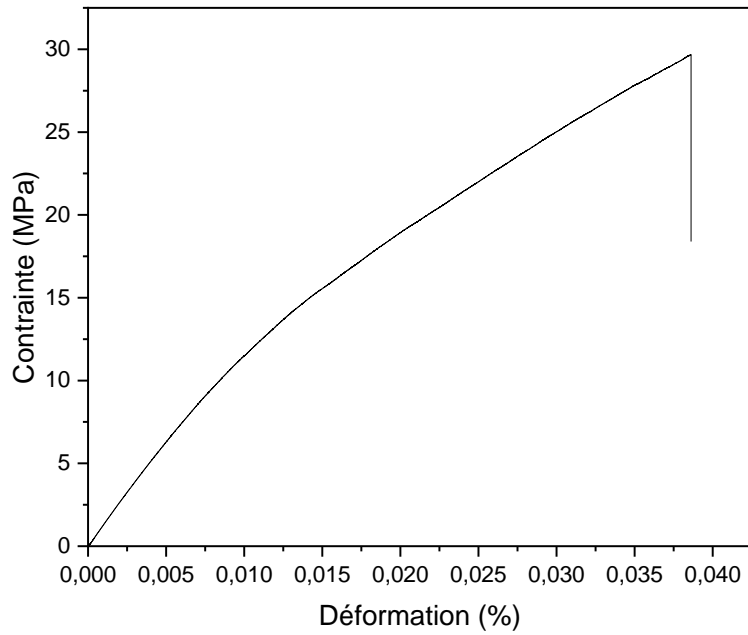


Fig III.5 : Courbe de traction (contrainte- déformation) Jute 15 % Luffa 5 %

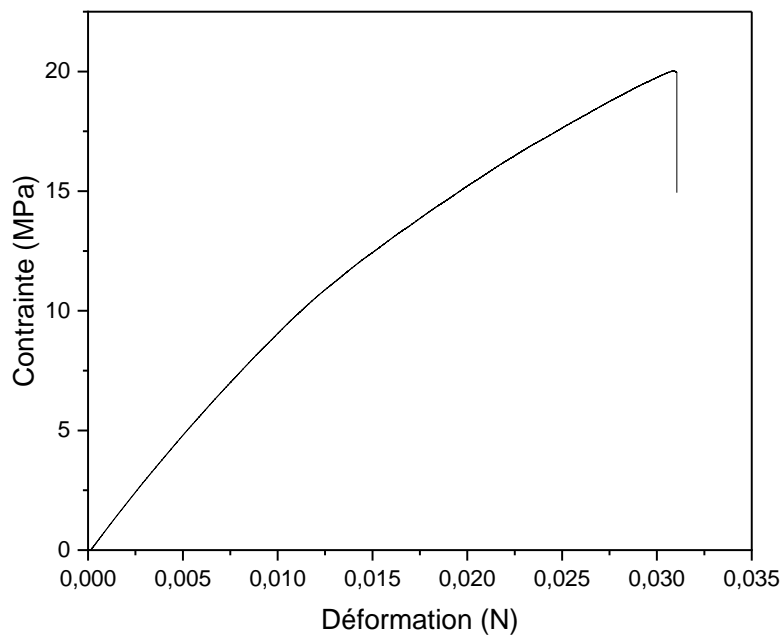


Fig III.6 : Courbe de traction (contrainte- déformation) Jute 5 % Luffa 15 %

III.3- Mesures l'échantillons:

Nous avons mesuré la surface des échantillons avant les essais de traction en utilisant la formule suivante:

$$\text{Surface (mm}^2\text{)} = \text{épaisseur} \times \text{Largeur}$$

Nous assurons de mesurer avec précision l'épaisseur et la largeur de chaque échantillon pour obtenir une mesure précise de la surface. Toutes les mesures que nous obtenons dans le tableau suivant:

Échantillons	Épaisseur (mm)	Largeur (mm)	Surface (mm²)
J5% - L10%	5.45	13.13	71.55
J10% -L5%	5.60	13.06	73.13
J10% -L15%	4	13.23	52.92
J15% - L10%	4.18	13.23	55.30
J15% -L5%	5.28	13.19	69.64
J5% - L15%	4.17	13.21	55.08

Tableau III.1: Les mesures échantillon avant essais de traction.

Après les essais de traction, nous avons mesuré la longueur et la surface des échantillons à la rupture. Encore une fois, nous assurons de mesurer l'épaisseur et la largeur de chaque échantillon avec précision pour obtenir une mesure précise de la surface. Toutes les mesures que nous obtenons dans le tableau suivant

Échantillons	Épaisseur (mm)	Largeur (mm)	Surface (mm²)
J5% - L10%	5.26	13.10	68.97
J10% -L5%	5.52	13.15	72.58
J10% -L15%	3.91	13.17	51.49
J15% - L10%	3.90	13.08	51.01
J15% -L5%	5.01	13.09	65.58
J5% - L15%	4.16	13.16	54.74

Tableau III.2: Les mesures échantillon après essais de traction.

III.3.1- Calcul Coefficient de striction (Z%):

$$Z\% = (S_0 - S_U) / S_0 \times 100.$$

Échantillons	S₀	S_U	Z%
J5% - L10%	71.55	68.97	3.60
J10% -L5%	73.13	72.58	0.96
J10% -L15%	52.92	51.49	2.70
J15% - L10%	55.30	51.01	7.75
J15% -L5%	69.64	65.58	5.82
J5% - L15%	55.08	54.74	0.61

Tableau III.3: Coefficient de striction (Z%).

III.4- Résultats obtenus:

Caractéristiques mécaniques du matériau étudié Le tableau III.1 présente les propriétés mécaniques du matériau analysé suite aux essais de traction effectués à une vitesse de 2 mm/min. Ces propriétés comprennent:

- Modul de Young E (MPa): module d'élasticité longitudinale
- Résistance maximale à la rupture (Rr): Correspond à la contrainte maximale que le matériau peut supporter avant de rompre.
- Allongement à la rupture (A%): Représente la déformation plastique maximale que le matériau peut subir avant sa rupture.
- Coefficient de striction (Z%): Mesure la réduction de la section du matériau à la rupture.

Échantillons	Module de Young (MPa)	Rm (MPa)	A%	Z%
J5% - L10%	857.86	26.90	5.61	3.60
J10% -L5%	1071.12	34..50	5.08	0.96
J10% -L15%	976.31	29.70	4.64	2.70
J15% - L10%	1252.07	33.40	4.91	7.75
J15% -L5%	1171.68	29.98	3.85	5.82
J5% - L15%	914.65	20.00	3.12	0.61

Tableau. III.4: Caractéristiques mécaniques en fonction teneur jute/luffa.

III.6 Variation du module d'élasticité longitudinale (module de Young) en fonction de la teneur en jute/luffa :

La variation du module d'élasticité longitudinale (module de Young) en fonction de teneur en jute/luffa est représentée sur la figure Fig. III.7.

La valeur maximale du module d'élasticité longitudinale (module de Young) obtenue est de 1252.07 (MPa) pour l'éprouvette Jute (15% - Luffa10%) puisque les fibres de jute et de luffa ont elles-mêmes des modules de Young plus élevés que celui de la matrice polymère dans laquelle elles sont incorporées. En augmentant la proportion de ces fibres, on augmente la rigidité globale du composite.

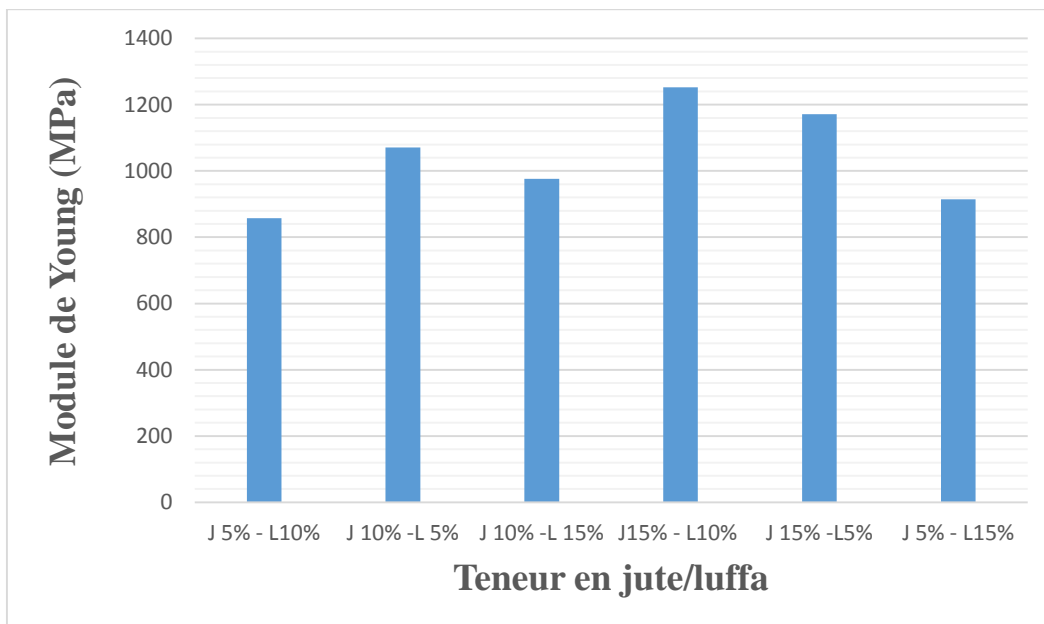


Fig III.7 : Histogramme de la variation du module d'élasticité longitudinale (module de Young) en fonction de la teneur en jute/luffa

III.7 : Variation de la Résistance à la rupture en fonction de la teneur en jute/luffa

La Variation de la résistance à la rupture en fonction de la teneur en jute/luffa est représentée sur la figure III. 8. La résistance à la rupture en fonction de la teneur en jute/luffa on remarque l'éprouvette (Jute 10% - Luffa 5%) Résistance maximale à la rupture obtenir 34.5 (MPa). La résistance supérieure du luffa par rapport au jute s'explique par plusieurs facteurs liés à leur structure cellulaire, composition chimique et propriétés mécaniques. Le luffa est constitué de fibres

ligneuses (fibres de bois) ce qui signifie qu'elles contiennent de la lignine, une substance qui confère une rigidité supplémentaire aux parois cellulaires et sont intrinsèquement plus rigides et résistantes, il possède une structure en réseau dense. Par contre, Le jute est principalement composé de cellulose et de lignine, mais dans des proportions différentes par rapport au luffa. La teneur en lignine est généralement plus faible, ce qui rend les fibres plus flexibles et moins rigides.

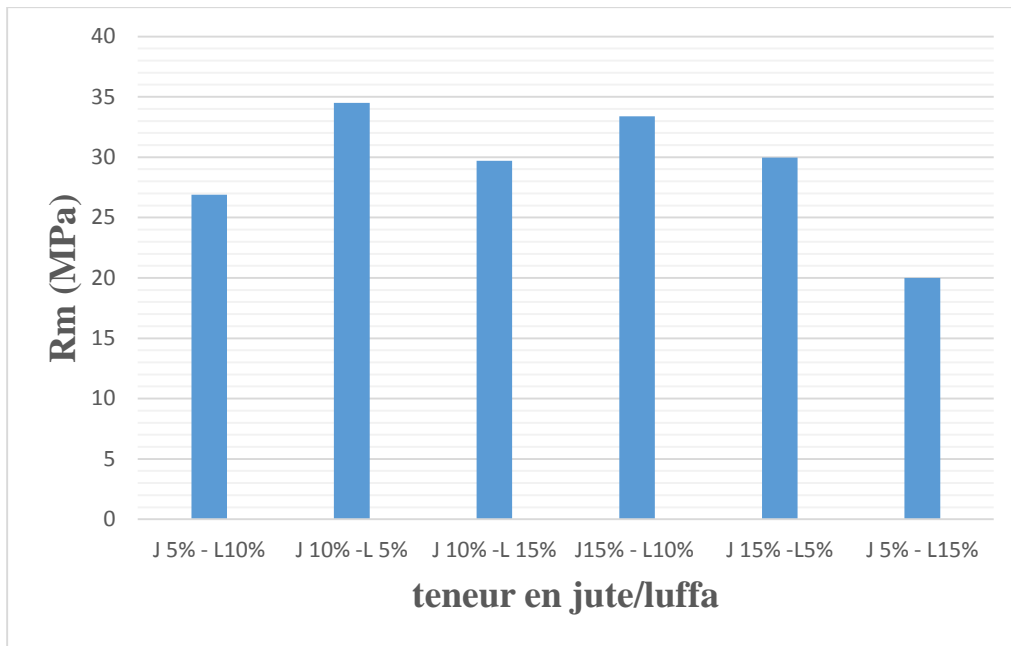


Fig. III. 8 : Histogramme de la variation de la résistance à la rupture en fonction de la teneur en jute/luffa

III.8 : Variation de l’allongement A % en fonction de la teneur en jute/luffa

On remarque sur la figure Fig.III.9 que la valeur de l’allongement A % du matériau est maximale à la teneur en jute 5% - Luffa 10% et minimale à la teneur en jute 5% - Luffa 15%. L’allongement à la rupture est une mesure de la ductilité ou de la capacité d'un matériau à s'étirer avant de se rompre. Lorsque le pourcentage de fibres de jute et de luffa diminue dans un hybride composite, l'allongement à la rupture augmente. En réduisant la quantité de ces fibres, la matrice polymère (qui est généralement plus ductile) a une plus grande influence sur les propriétés mécaniques globales du composite, permettant un allongement plus important.

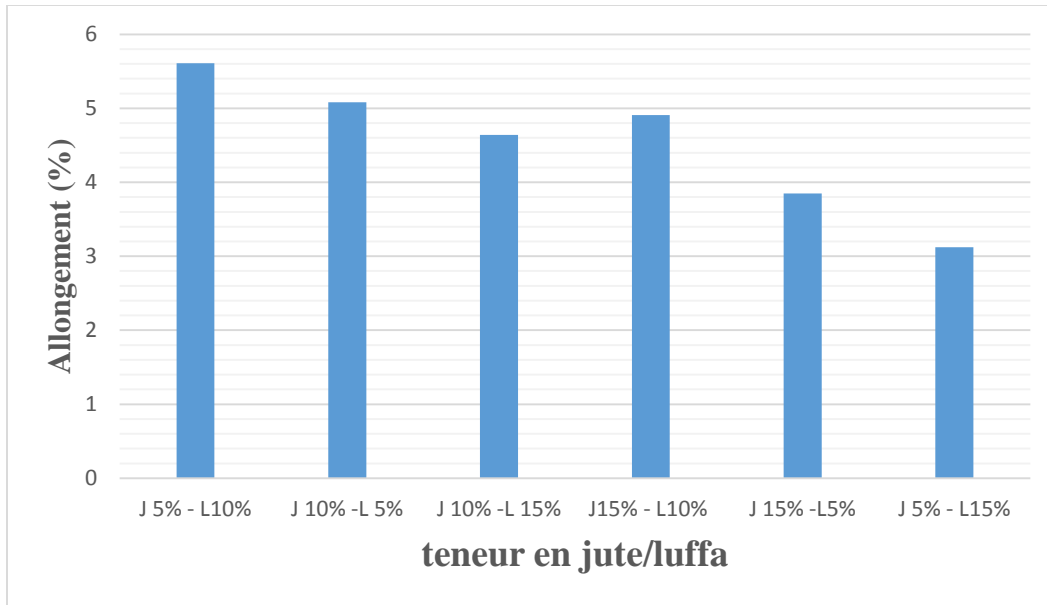


Fig.III.9 : Histogramme de la variation de l'allongement A % en fonction de la teneur en jute/luffa

III.9 : Variation du coefficient de striction Z% en fonction de la teneur en jute/luffa

La figure III.10 présente les résultats obtenus du coefficient de striction en fonction de la teneur en jute/luffa

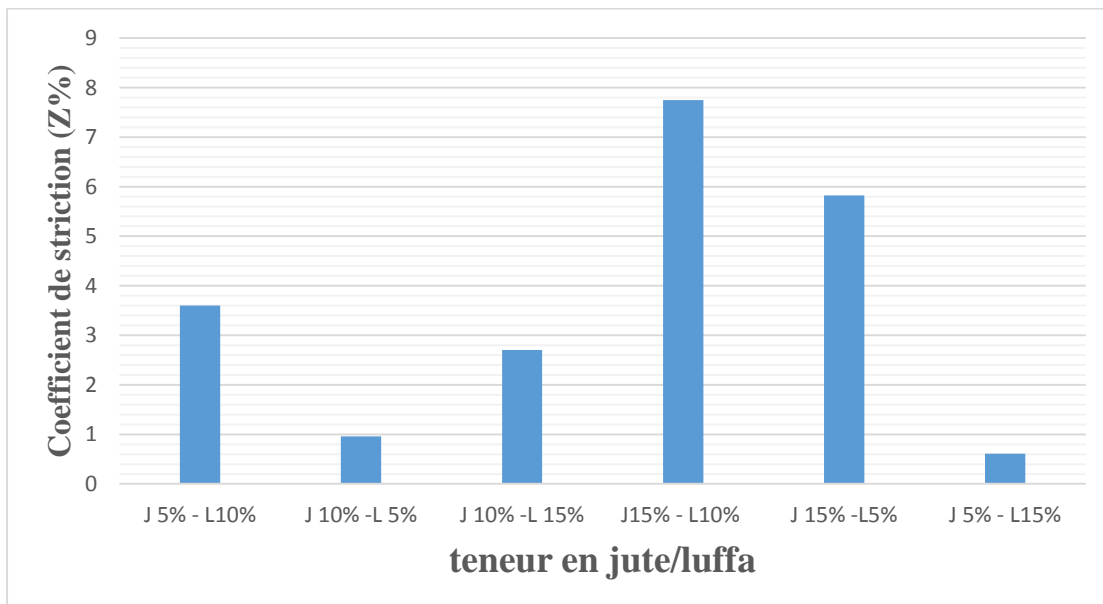


Fig.III.10 : Histogramme de la Variation du coefficient de striction Z% en fonction de la teneur en jute/luffa

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Le travail que nous avons réalisé dans ce mémoire est purement expérimental, a pour objet de comprendre l'effet des taux de fibres de luffa et de fibres de jute (sous forme de tissu bidirectionnel) en traction sur les propriétés mécaniques des matériaux composites.

L'incorporation de fibres naturelles comme le luffa et le jute dans des matériaux composites affecte divers aspects de leurs propriétés mécaniques en traction.

Un ajout modéré de fibres de luffa ou de jute peut augmenter le module de Young, rendant le matériau plus rigide.

Une augmentation du pourcentage de fibres de luffa ou de jute peut améliorer la résistance à la rupture jusqu'à un certain seuil, car les fibres renforcent la matrice en transférant les charges appliquées.

L'incorporation de fibres de luffa ou de jute tend à réduire l'allongement à la rupture.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1]. TAHAR Mourad, Etude de l'endommagement dans un composite stratifié. UNIVERSITE ABDEL-HAMID IBN BADIS DE MOSTAGANEM -2012

[2]. Taqiyeddine MOUMENE, Polygraphie de Cours Les composites. Université Ibn Khaldoun Tiaret.

[3]. Gornet L. Généralité sur les matériaux composites. ECN, Centre Nantes, 2011.

[4]. Abderrazak Gharbi, Analyse des fissurations des matériaux composites et détermination de leur délaminage utilisant des capteurs piézo électriques. UNIVERSITE MENTOURI-CONSTANTINE. Constantine : 2005

[5]. Laurent Gornet. Généralités sur les matériaux composites. Engineering school. France.2008

[6]. Lisa VIDIL. Thème : Etude de matériaux naturels 2D - Potentialités d'utilisation comme

Renfort de Matériaux composites. UNIVERSITE DES ANTILLES. Soutenue le 22-07-2019.

[7]. Bouchiba maria, cour matériaux composites. Option : Construction Mécanique, Université Mohamed Boudiaf– M'sila. 2023/2024.

[8]. ABDELKEBIR Abderraouf, Thème L'EFFET DE LA TEMPERATURE DE MERCERISATION SUR LES PROPRIETES DU COMPOSITE (TISSUS DE JUTE/ POLYESTER). Université Mohamed Boudiaf– M'sila,2018

[9]. YAHY Fatima Zahra, THEME Caractérisation physique d'une fibre végétale (le DISS) Mémoire de Master 2, Université Mohamed Boudiaf– M'sila, 2016

[10]. SEMSARI_BILEL, THEME : Etude et simulation d'une composite Aéronautique à base de Fibre de carbone et matrice époxy. UNIV-BLIDA 1. BLIDA/2019.

[11]. Guesmi Abdelhamid, THEME : Caractérisation d'un matériau composite stratifié à fibres De verre Mat et tresse en flexion trois points statique UNIVERSITE BADJI MOKHTAR- ANNABA. Année 2016.

[12]. Lorn chemicals. Production de résine Alkyde, Polyesters et composites.

[13]. BELHADJ AHMED Fatiha, ETUDE DE LA DIFFUSION D'UN MATERIAU COMPOSITE « résine époxy ». UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE D'ORAN « MOHAMED BOUDIAF » La soutenance aura lieu Le 02 Mars 2016 à 10 h.

[14]. Tahi Ahmed, Étude sur le perçage des composites à Fibres naturelle. Université Mohamed Boudiaf-M'sila.2022

[15]. ABDEMEZIEM Zine. LABIDI Achour. Mémoire De Fin D'études. THEME Étude du Comportement d'un stratifié carbone/polyester. Promotion 2016-2017.

[16]. KAOUCHE Naima. Intitulé PRISE EN COMPTE DU VIEILLISSEMENT ET DE L'ENDOMMAGEMENT DANS LE DIMENSIONNEMENT DE STRUCTURES EN MATERIAUX COMPOSITES. P : 20. (2017)

[18]. LAIADHI Nouha et METLOUG Farida. INFLUENCE DU TAUX DE FIBRE NATURELLE SUR LES PROPRIETES DU COMPOSITE A BASE DE RESINE EPOXY. University of Biskra . 20-Jun-2022

[17]. KHAROUBI Mounir, Mémoire de magister. Thème : CONTRIBUTION A L'ETUDE EXPERIMENTALE ET NUMERIQUE DE STRATIFIES CROISES A RENFORT

UNIDIRECTIONNEL. Présenté à l'Université de Gualma. Décembre 2002.

[19]. TAHI YANIS, HENANE AMAR, MEMOIRE de MASTER. Thème Simulation numérique des orientations Préférentielles d'un renfort dans un matériau composite. UNIVERSITE Abderrahmane MIRA BEJAIA. Année Universitaire 2019-2020

[20]. SOUALAH Sarra, MEMOIRE DE MASTER hème Amélioration des Performances d'un Matériau Composite Stratifié Biomécanique chargé de granulés de noyaux de dattes. UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA. Année : 2017/2018

[21]. HAMLIL Dyhia, Mémoire de Fin D'étude. THEME. Renforcement, en flexion, d'éléments Poutres en béton. UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU. Promotion : 2021/ 2022

[22]. Christelle DelaiteJean-Victor RICHARD Anne-Sophie SCHULLER Current Assignee Université de Haute Alsace A et A Mader SA 2016-07-13

[23]. ABDALLAOUI Hicham. SADDEK Abdessalam. Thème CARACTERETION ET LABORATION D'UN MATERIAUX COMPOSITE JUTE(DECHES)/POLYSTER. Année universitaire : 2018 /2019

[24]. BELHENINI Soufyane, Laboratoire des Structures Intelligentes. Université Belhadj-Bouchaib d'Ain-Temouchent.

[25]. Perezcamps. MATÉRIAUX COMPOSITES.

[26]. REGUIG Saida & SMAINI Oussama. Thème : EXTRACTION ET CARACTERISATION D'UNE FIBRE NATURALLE LOCALE. Mohamed Boudiaf University of M'sila. Année Universitaire : 2022 / 2023

[27]. BOUCHAREB Samira & BOUCHERIT Boumediene. Thème TISSAGE DE FIBRES VEGETALES POUR CARACTERISATIONS MECANIQUE DES COMPOSITES BIDIRECTIONNELS. Année Universitaire : 2017 / 2018

[28]. Emateks Textile offre des solutions parfaites

[29]. Hamza Nacer. MÉMOIRE DE MASTER. Thème : effet des différentes méthodes D'extractions de Traitements des fibres végétales (palmier dattier) sur les propriétés Mécaniques. Université Mohamed Khider de Biskra. Année universitaire : 2019 – 2020.

[30]. ZOUAOUI Moncef, LARGUET Aissa, Mémoire de master. Thème : LES COMPOSITES

HYBRIDES A FIBRES VEGETALES. Université Mohamed El Bachir Elibrahimi –Bordj Bou Arreridj. Année Universitaire 2020-2021.

[31]. Mohamed El Hadi BOURAHLI, DOCTORAT EN SCIENCES thème Caractérisation d'un Composite verre / époxy. (2018).

[32]. Melle : Yahiaoui Lamia - Mémoires de Magistère - Thème Caractérisation d'un composite À la rupture à base des Fibres végétales (Diss). Université Ferhat Abbas Sétif Soutenu le : //2011.

[33]. Mr OUSSAID ABDALLAH, MEMOIRE DE FIN D'ETUDE. Thème : Elaboration et Caractérisation d'un nouveau matériau Composite à base de PVC et de la farine de bois de Chêne zeen modifiée. UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI TIZI OUZOU. Soutenu le : 08/12/2016

[34]. OUMSALEM Malika, Mémoire de Master. Thème : Effet du taux et de la taille des fibres Lignocellulosiques sur Les propriétés diélectriques des composites (PVC/Diss). UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU. Soutenu le : 22/ 09 / 2016.

[35]. Diane Schorr, thème Caractérisation et modification des lignines industrielles, Doctorat en Sciences du bois Philosophiae doctor (Ph.D.) Québec, Canada. © Diane Schorr, 2014

[36]. Article : LES MATIÈRES PREMIÈRES TEXTILES : LES FIBRES ET LES FILAMENTS

[37]. Boudache Djamel, Tayebi Khadidja, Mémoire de Fin d'Etudes thème : Caractérisation de la Fibre d'Alfa. Université Mohamed El Bachir El Ibrahimy –Bordj Bou Arreridj Soutenu le : 03/07/2017

[38]. La Fédération de la Maille. T H E FIBER LAB - Episode 1 : Les Fibres Chimiques

[39]. DEBBICHE Mohammed Yassine, Mémoire de Fin de Cycle. MASTE. En Génie Mécanique Elaboration et caractérisation des tubes en matériaux Composites. Université 8 Mai 45 Guelma. Année universitaire : 2019/2020.

[40], BENAMEUR Heythem, Mémoire de fin d'étude. Thème : Élaboration et caractérisation Des Biocomposites à matrice thermoplastique renforcés par des fibres végétales. Université Du 8 Mai 1945 – Guelma JUIN 2022.

[41]. BEN KECHROUD BASMA. MEMOIRE DE MASTER. Thème Etude comparative de Quatre aciers pour pipeline pour Sonatrach réalisés à la TSS Arcelor Mittal-Annaba selon Les paramètres physico chimique et choix de l'acier X52. UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA. Année : 2013/2014.

[42]. Ati Mohamed Lamin. Mokrani Abdennour. Mémoire MASTER ACADEMIQUE. Thème Etude Analytique des Essais mécaniques Investigation sur les essais de traction. UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA. Année universitaire : 2021/2022.

[43]. BENMEBROUK DJEBRANE. GUEDIRI CHAOUKI. MÉMOIRE de MASTER. Thème Étude expérimentale de caractérisation mécanique d'une fibre du matériau composite. Université Echahid Hamma Lakhdar- EL Oued. Soutenue le : 06/06 /2023.

[44]. BRAICHE Toufik & DJOUILEM Ayoub. Thème Etude de l'influence de la température du Revenu sur le comportement en traction d'un acier faiblement allié. Mohamed Boudiaf Université of M'sila. Année Universitaire : 2021 / 2022.

Résumé

Les propriétés mécaniques des matériaux composites font partie des conditions nécessaires au bon fonctionnement des systèmes mécaniques en industrie. Notre étude dans cette thèse consiste à analyser les propriétés mécaniques des matériaux composites jute / luffa. Des essais de traction à une vitesse de 2 mm / min avec des proportions différentes de jute et de luffa ont été effectués. Les propriétés mécaniques requises concernent le module d'élasticité longitudinale, la résistance à la rupture et l'allongement et le coefficient de striction. Il a été constaté que la variation des taux de jute ou de luffa conduit à une variation des valeurs des propriétés mécaniques du matériau composite hybride étudié.

Mots clés : Jute, luffa, matériau composite hybride, propriétés mécaniques des composite

ملخص

تُعد الخصائص الميكانيكية للمواد المركبة جزءاً من الشروط اللازمة لضمان الأداء الجيد للأنظمة الميكانيكية في الصناعة. تتناول دراستنا في هذه الأطروحة تحليل الخصائص الميكانيكية للمواد المركبة من الجوت / اللوفا. تم إجراء اختبارات الشد بسرعة 2 ملم / دقيقة باستخدام نسب مختلفة من الجوت واللوفا. تشمل الخصائص الميكانيكية المطلوبة كلاً من معامل المرونة الطولي، وقوة الكسر، والاستطالة، ومعامل الانكماش. وقد تبين أن تغيير نسب الجوت أو اللوفا يؤدي إلى تباين في قيم الخصائص الميكانيكية للمادة المركبة الهجينة التي تم دراستها.

الكلمات المفتاحية: الجوت، الليف، المواد المركبة الهجينة، الخواص الميكانيكية للمواد المركبة

Abstract

The mechanical properties of composite materials are among the necessary conditions for the proper functioning of mechanical systems in industry. Our study in this thesis involves analyzing the mechanical properties of jute/luffa composite materials. Tensile tests at a speed of 2 mm/min with different proportions of jute and luffa were conducted. The required mechanical properties include the longitudinal modulus of elasticity, tensile strength, elongation, and the coefficient of necking. It was found that varying the ratios of jute or luffa leads to a variation in the mechanical properties of the studied hybrid composite material.

Keywords: Jute, luffa, hybrid composite material, mechanical properties of composites