

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE  
DEPARTEMENT DE GENIE  
MECANIQUE



FILIERE : MECANIQUE  
OPTION : GENIE DES MATERIAUX.

N° :

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE  
En vue de l'obtention du diplôme de :  
**MASTER**

Par: ABDALLAOUI Hicham  
SADDEK Abdessalam

Thème

**CARACTERETION ET LABORATION D'UN  
MATERIAUX COMPOSITE  
JUTE(DECHES)/POLYSTER**

Soutenu devant le jury composé de:

<b>NOM et Prénom</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>
BENARIOUA.Y	PROF	Président
BENHAMADOUCHE.L	MAA	Encadreur
ZEMMAMOUCHE.R	MCB	Examineur
LATRACHE.M	DOC	Examineur
MOUSSAOUI.N	MAA	Invité

Année universitaire : 2018 /2019

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ  
الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي  
خَلَقَ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ  
وَالَّذِي يُضَوِّبُ الْمَوْتِ  
وَالَّذِي يُضَوِّبُ الْمَوْتِ  
وَالَّذِي يُضَوِّبُ الْمَوْتِ

# ***Remerciements***

Tout d'abord, je remercie le bon dieu, le clément et miséricordieux qui ma donné du courage et la patience pour réaliser ce modeste travail.

J'adresse également mon vif remerciement à :

Mes chère parents pour l'affection et le soutien morale durant mes années d'études et pour l'éducation qu'ils m'ont prodigué; avec tous les moyens et au prix de tous les sacrifices qu'ils ont consentis à mon égard, pour le sens du devoir qu'ils m'ont enseigné depuis notre enfance.

**<<Que dieu nous les gardes >>.**

Mon encadreur **Mme.BENHAMADOUCH.L** pour ses aides précieux et sa coopération le long de cette période.

Le chef du département de génie mécanique **Dr ROKBLIM**

Mes remerciements vont également à tous les professeurs du département de génie mécanique Et surtout **Mme .MOUSSAOUI. N**

Ainsi que toutes personnes ayant de près ou de loin contribuées à l'élaboration de ce présent mémoire.

Merci

Abdallaoui hicham  
Sadek abdessalam

## Dédicaces

### *Je dédie ce mémoire*

*A mes chers parents **Ma mère**, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude. Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie.*

*A tout ma famille pour l'amour et le respect qu'ils m'ont toujours accordé.  
Je n'oublierai pas d'associer dans mes remerciements mes collègues, les plus chers,  
et en particulier **Ben taoumi Taurkia** pour leur aide.*

*Je leur souhaite tout le succès et tout le bonheur à mes amis et mes camarades.*

*Surtout, **Bilal, Saïfe, Mohande, Salah,  
Mohamed, Riad, Khalil, Oussama, Tarek, Youcef, Karimo.***

*Sans oublier tous les professeurs que ce soit du primaire, du moyen, du secondaire  
jusqu'à l'université.*

*A toute personne qui m'a aidé à franchir un horizon dans ma vie*

*A tous ceux que j'aime.*

**ABDALLAOUI Hicham**

**Introduction générale**.....01

## **Chapitre I : Généralité sur les matériaux composites**

I.1 .Introduction .....03

I.2. Matrice.....03

I.2.1. Résines thermodurcissables..... 04

I.2.1.1. Résines polyesters.....04

I.2.1.2. Résines de condensation..... 05

I.2.1.3. Les résines époxydes..... 06

I.2.2. Résines thermoplastiques..... 06

I.2.3. Résines thermostables..... 07

I .3. Charges et additifs .....08

I .3.1. Charges.....08

I .3.1.1. Charges renforçantes..... 08

I .3.1.2. Charges nonrenforçantes .....08

I .3.2. Additifs.....08

I .4. Renforts.....09

I .4.1. Formes linéiques.....10

I .4.2. Formes surfaciques.....11

I .4.2.1.Mats .....11

I .4.2.2.Tissus et rubans.....11

I .4.3. Différents types de fibres..... 13

I 4.3.1. Fibres de verre.....13

I .4.3.2. Fibres de carbone.....14

I .4.3.3. Fibres d’aramide .....14

I .4.3.4. Fibres naturelle..... 14

I 3.3.4.1 Classification des fibres naturelles.....14

I 3.3.4.2 Intérêt de l’utilisation des fibres naturelles..... 15

I .4. Mise en forme des matériaux composites.....15

I .4.1. Moulage au contact.....16

I .4.2. Moulage par projection simultanée.....16

I .4.3. Moulage sous vide.....	16
I .4.4. Moulage par injection de résine ou RTM.....	17
I .4.5. Moulage par compression .....	17
I .5. Architecture des matériaux composites .....	18
I 5.1. Stratifiés.....	18
I .5.1.1. Stratifiés à base de fils ou de tissus unidirectionnels.....	19
I .5.1.2. Structure générale d'un stratifié.....	19
I .5.2. Composites sandwiches.....	20
I. 6. Domaine d'utilisation des matériaux composites .....	20
I. 8. Conclusion.. .....	21

## **Chapitre II : Généralités sur les fibres végétales**

II.1. Introduction.....	22
II.1. Les fibres naturelles .....	22
II.2.1. Définition.....	22
II.2.2. Classification des fibres naturelles.....	22
II.3. Les fibres végétales.....	23
II.3.1. Définition des fibres végétales.....	23
II.3.2. Classification des fibres végétales.....	23
A. Les fibres de feuilles.....	23
B. Les fibres de tiges.....	23
C. Les fibres de bois.....	24
D. Les fibres de surface.....	24
II.3.3. Structure de la fibre végétale.....	24
II.3.4. Composition chimique de la fibre végétale.....	25
II.3.5. Caractéristiques physiques et mécaniques des fibres végétales.....	26
II.4. Différentes fibres végétales.....	27
a) L'abaca.....	27
b) Le lin.....	28

c) Le chanvre.....	28
d) Le coton.....	29
e) Le kénafe.....	29
f) Le jute.....	30
g) Le sisal.....	30
h) La ramie.....	32
i) Le coco.....	32
j) L'alfa.....	33
II .5. Avantages et inconvénients.....	33
II.6. Principaux avantages et inconvénients des fibres végétales.....	34
II.7.Conclusion.....	35

## **CHAPITRE III: Matériaux et techniques expérimentales**

III.1. Introduction.....	36
III.2. Matériaux utilisés.....	36
III.3.1. Caractéristiques principales pour chaque matériau utilisé.....	36
III.3.2. Résine polyester.....	36
III.3.3. Caractéristiques des résines polyester.....	36
III.3.4. Le jute.....	37
III.3.5. Fibres de Jute.....	38
III.4. La mise en œuvre du bio-composite.....	39
III.4.1. La technique de moulage utilisé.....	39
III.4.2. Elaboration des composites.....	39
III.5.Caractérisation mécanique des composites Jute / Polyester.....	42
III.5.1. Préparation des éprouvettes.....	42
III. 5. 2. Essai de traction.....	43
III.6.Paramètres d'études de traction.....	44
III.9. Conclusion.....	45

## CHAPITRE IV: Résultats et discussions

IV. 1. Introduction.....	46
IV. 2. Analyse des courbes contrainte-déformation de bio composite.....	46
IV. 3. Paramètres de rupture en traction.....	49
Conclusion général .....	53
Références Bibliographiques .....	54

## Figure chapitre I

Fig. I.1 : Types de matrice.....	3
Fig .I.2. type de renfort.....	9
Fig .I.3.Monofilaments réunis en mèches.....	10
Fig .I.4. Chaîne et trame d'un tissu.....	10
Fig .I.5. Les principaux types d'armures utilisées pour le tissage des tissus.....	11
Fig .I.6. Fibre de verre.....	11.
Fig .I.7. Fibre de carbone.....	12
Fig .I.8. Fibre d'aramide.....	13
Fig .I.9. Principe du moulage au contact.....	15
Fig .I.10. Principe du moulage par projection simultanée.....	15
Fig .I.11. Moulage sous vide.....	16
Fig .I.12. Principe du moulage RTM.....	16
Fig .I.13. Méthode de moulage par compression .....	17
Fig .I.14. . Constitution d'un stratifié .....	17
Fig .I.15. Désignation d'un stratifié .....	18
Fig .I.16. Matériaux sandwiches a âmes pleines.....	19
Fig .I.17. Matériaux sandwiches a âmes creuses.....	20

## Figure chapitre II

Fig .II.1.Classification des fibres naturelles selon à l'origine.....	23
Fig .II.2. .Structure de la fibre végétale.....	24
Fig .II.3. Modèle de la description de structure d'une fibre végétale.....	25
Fig .II.4.Exemple de représentation schématique de l'agencement des différents composants des fibres végétales à l'échelle micrométrique.....	26
Fig .II.5. Fibre de l'abaca.....	27
Fig .II.6. Fibre de lin.....	28
Fig .II.7. Fibre de chanvre.....	29
Fig .II.8. Fibre de coton.....	29
Fig .II.9. Fibre de le kénaf.....	30

Fig .II.10. Fibre de jute.....	30
Fig .II.11. Fibre de Sisal.....	31
Fig .II.12. Fibre de ramie.....	32
Fig .II.13. Fibre de coco.....	32
Fig .II.14. Fibre d'alfa.....	33
Fig .II.15. . Fibre de palmier dattier.....	33

### Figure chapitre III

Fig. III.1. Sacs de Jute.....	36
Fig.III.2. cycle de polymérisation de polyester.....	37
Fig. III. 3. Structure de fibre de jute.....	38
Fig.III. 4.Mécanisme de moulage sous vide.....	39
Fig. III. 5.Préparation du renfort.....	40
Fig.III.6. Préparation de la résine.....	41
Fig. III. 7. Le processus de passage de la résine.....	41
Fig.III.8. Dispositif du moulage sous vide.....	42
Fig.III. 9. Les dimensions des éprouvettes. (ASTM3039).....	42
Fig. III. 10. Opération de découpage les plaque (A, B, C).....	43
Fig.III.11: Eprouvette soumis à la traction.....	44

### Figure chapitre IV

Fig. IV. 1. Rupture du composite Jute/Polyester durant l'essai de traction.....	46
Fig. IV.2. Evolutions de la contrainte en fonction de déformation ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) des éprouvettes du bio-composite (A).....	47
Fig.IV.3. Evolutions de la contrainte en fonction de déformation ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) des éprouvettes du bio-composite (B).....	47
Fig. IV.4. Evolutions de la contrainte en fonction de déformation ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) des éprouvettes du bio-composite (C).....	48
Fig. IV. 5 Rupture des bio-composites.....	49
Fig. IV.6 : Histogrammes de l'évolution des contraintes des bio-composites.....	50
Fig. IV.7 : Histogrammes de l'évolution des module de young des bio-composites.....	50

Fig. IV.8. Histogrammes de l'évolution des déformations des bio-composites.....	51
Fig. IV.9. Faciès de rupture des composites jute/polyester.....	52

## **Tableaux Chapitre I**

**Tableau.I.1.** Différents types de verres filables.....12

## **Tableaux Chapitre II**

**Tableau .II.1.**Composition chimique (en %) de différentes fibres végétales .....26

**Tableau.II.2.**Les caractéristiques mécaniques de quelques fibres Végétales.....27

## **Tableaux Chapitre III**

**Tableau.III.1.**Différentes caractéristiques de la résine polyester.....37

**Tableau. III. 2.** Composition chimique de la fibre de jute.....38

**Tableau. III. 3.** Résultat de traction pour quelque type de jute.....39

**Tableau.III. 4.** Caractéristiques des tissus de Jute utilisés.....40

## **Tableaux Chapitre IV**

**Le Tableau IV.** Représenté les résultats de test en traction obtenues après l'examen des trois bio-composites de différents tissages.....51

## Introduction générale

---

De nos jours, les matériaux composites ont connu une évolution très remarquable. Ils ne cessent d'évoluer et gagner une importance, d'ailleurs, ils s'imposent dans beaucoup de domaines, par exemple, l'industrie automobile, l'aéronautique, l'industrie militaire, etc. ...

Vu les exigences toujours croissantes du consommateur, le domaine des matériaux composites se trouve immédiatement concerné, d'où la nécessité de développer des nouveaux produits qui répondent à ces exigences.

L'objectif d'un matériau composite est de combiner deux ou plusieurs matériaux tout en créant une synergie entre ces différents matériaux afin qu'il en résulte un composite plus performant que chacune des composantes prises individuellement.

Le jute est principalement utilisé pour le marché de l'emballage. Les tissus, les sacs et les sacs en toile de jute tissée sont largement utilisés pour le transport et le stockage de produits agricoles, d'engrais, de ciment et de certains produits chimiques. Avec la croissance de la manutention en vrac et des matériaux d'emballage synthétiques bon marché, le marché de ces matériaux de jute traditionnels a été sérieusement affecté.

Le souci de l'environnement, qu'il s'agisse de limiter l'utilisation de ressources limitées ou de gérer l'élimination des déchets, a poussé à recycler les matériaux à la fin de leur vie utile. Comme on le sait, les sacs de jute à la fin de leur durée de vie seront considérés comme des déchets ; de plus, les fibres de jute restantes ne sont pas encore réutilisées de manière efficace.

C'est dans ce contexte qu'entre notre contribution. Le renfort utilisé dans notre travail est les sacs de jute usagés qu'on a recyclés pour élaborer des matériaux composites Polyester/jute recyclé.

Ce mémoire est subdivisé en quatre chapitres :

**Le premier chapitre** est réservé aux généralités sur les matériaux composites, ses éléments constitutifs, les différents procédés de mise en forme, ensuite leur domaine d'utilisations.

## Introduction générale

---

**Le deuxième chapitre** est des généralités sur les fibres végétales, classification des fibres végétales, Caractéristiques des fibres végétales.

**Le troisième chapitre** donne les détails sur les matériaux utilisés et les procédés d'élaboration de ces matériaux. Nous avons présenté aussi l'essai traction pour déterminer les caractéristiques de ces matériaux.

**Le dernier chapitre** est consacré à la présentation et la discussion des propriétés mécaniques des bio-composites et l'influence de l'architecteurs du tissage sur ces caractéristiques.

Cette étude est achevée par une conclusion générale résumant les principaux résultats obtenus et donnant quelques perspectives à cette étude.



**CHPITRE I :**  
***Généralités sur les  
matériaux composites***

## I. 1. Introduction :

Dans un sens large, le mot "composite" signifie matériau constitué de deux ou plusieurs parties différentes. En fait, l'appellation matériau composite ou composite est utilisée dans un sens beaucoup plus restrictif, qui sera précisé tout au long de ce chapitre. Un matériau composite est constitué de l'assemblage de deux matériaux de natures différentes, se complétant et permettant d'aboutir à un matériau dont l'ensemble des performances est supérieur à celui des composants pris séparément. Un matériau composite est constitué d'une matrice et d'un renfort.

## I. 2. Matrice :

La matrice est composée d'une résine et de charges dont le but est d'améliorer les caractéristiques de la résine tout en diminuant le coût de production. D'un point de vue mécanique, l'ensemble résine-charges se comporte comme un matériau homogène, et le composite est considéré comme constitué d'une matrice et d'un renfort. La classification des types de matrices couramment rencontrées est donnée sur la figure I. 1.

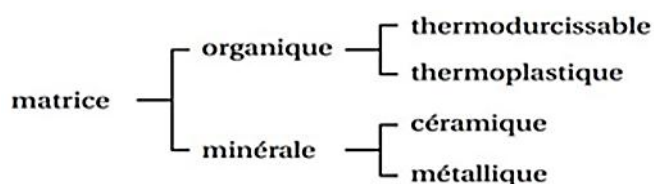


Fig. I.1 : Types de matrice

Les résines utilisées dans les matériaux composites ont pour rôle de transférer les sollicitations mécaniques aux fibres et de les protéger de l'environnement extérieur. Les résines doivent donc être assez déformables et présenter une bonne compatibilité avec les fibres. En outre, elles doivent avoir une masse volumique faible de manière à conserver aux matériaux composites des caractéristiques mécaniques spécifiques élevées.

Compte tenu de ces contraintes, les résines utilisées sont des polymères, modifiés par différents adjuvants et additifs : agents de démoulage, stabilisants, pigments, etc. Les résines sont livrées en solution, sous forme de polymères nonréticulés en suspension dans des solvants qui empêchent le pontage entre les macromolécules prépolymérisées. Sous l'action de la chaleur, des liaisons se développent entre les chaînes du prépolymère pour constituer un polymère réticulé suivant une structure tridimensionnelle. Deux grandes familles de résines polymères existent : les résines thermoplastiques et les résines thermodurcissables.

Ces deux types de résine possèdent la faculté de pouvoir être moulés ou mis en forme, pour donner soit un produit fini, soit un produit semi-fini dont la forme peut être modifiée.

Les résines utilisées dans les matériaux composites ont pour rôle de transférer les sollicitations mécaniques aux fibres et de protéger les fibres vis-à-vis des agressions extérieures. Les résines doivent donc être assez déformables et présenter une bonne compatibilité avec les fibres. En outre, elles doivent avoir une masse volumique faible de manière à conserver aux matériaux composites des caractéristiques mécaniques spécifiques élevées. [1]

### I. 2.1. Résines thermodurcissables :

Les principales résines thermodurcissables utilisées dans la mise en œuvre des matériaux composites sont par ordre décroissant en tonnage :

- Les résines polyesters insaturées : polyesters condensés, vinylesters, dérivés allyliques, etc.,
- Les résines de condensation : phénoliques, aminoplastes, furaniques, etc...,
- Les résines époxydes.
- 

#### I.2.1.1. Résines polyesters :

Les résines polyesters insaturées viennent de très loin en tête dans la mise en œuvre des matériaux composites. Leur développement est le résultat :

- ✓ D'un faible coût de production ;
- ✓ D'une adaptation à des procédés de fabrication faciles à mettre en œuvre et à automatiser ;

Suivant leur module d'élasticité, les résines polyesters sont classées en : résines souples, résines semi-rigides et résine rigides. Les résines habituellement utilisées dans la mise en œuvre des matériaux composites sont du type rigide, et nous retiendrons pour ces résines durcies les caractéristiques suivantes :

Masse volumique	1200 Kg/m <sup>3</sup>
Module d'élasticité en traction	2,8 à 3,5 GPa
Module d'élasticité en flexion	3 à 4,5 GPa
Contrainte à la rupture en traction	50 à 80 MPa
Contrainte à la rupture en flexion	90 à 130 MPa
Allongement à la rupture en traction	2 à 5 %
Allongement à la rupture en flexion	7 à 9 %
Résistance en compression	90 à 200 MPa
Résistance au cisaillement	10 à 20 MPa
Température de fléchissement sous charge	60 à 100 °C

**Avantages des polyesters insaturés:**

- ✓ Une bonne rigidité résultant d'un module d'élasticité assez élevé ;
- ✓ Une bonne stabilité dimensionnelle ;
- ✓ Une bonne mouillabilité des fibres et des tissus ;
- ✓ La facilité de mise en œuvre ;
- ✓ Une bonne tenue chimique ;
- ✓ Un faible coût de production ;
- ✓ Une bonne résistance chimique aux hydrocarbures (essence, fuel, etc.) à température ambiante, etc.

**Inconvénients :**

- ✓ Une tenue médiocre en température : inférieure à 120 °C ;
- ✓ Une sensibilité à la fissuration, essentiellement dans le cas de chocs ;
- ✓ Une dégradation à la lumière par les rayons ultraviolets ;

**I.2.1.2. Résines de condensation :**

Les résines de condensation comportent les résines phénoliques, les aminoplastes et les résines furaniques.

1. Les résines phénoliques sont les plus anciennes des résines thermodurcissables. Elles présentent une excellente stabilité dimensionnelle, une bonne tenue à la chaleur, une bonne résistance aux agents chimiques, de bonnes caractéristiques mécaniques et un faible coût ;

Les résines phénoliques seront donc utilisées dans le cas de pièces nécessitant une tenue élevée en température ou une bonne résistance aux agents chimiques

2. Les caractéristiques des résines aminoplastes sont voisines de celles des résines phénoliques. Aux avantages de ces résines, il faut ajouter : la possibilité d'utilisations alimentaires et la possibilité de colorer les résines.

3. Les résines furaniques sont assez peu utilisées à cause de leur coût, trois fois plus élevé que les résines polyesters. Parmi leurs avantages : un durcissement plus rapide que les résines phénoliques et une grande inertie vis-à-vis des agents chimiques corrosifs. Cette dernière caractéristique conduit à utiliser les résines furaniques dans le cas de matériaux devant résister aux produits chimiques : citernes, tuyaux, bacs, etc.

### I.2.1.3. Les résines époxydes

Les résines les plus utilisées après les résines polyesters insaturées sont les résines époxydes. Elles ne représentent cependant que de l'ordre de 5% du marché composite, à cause de leur prix élevé (de l'ordre de cinq fois plus que celui des résines polyesters).

Du fait de leurs bonnes caractéristiques mécaniques, les résines époxydes, généralement utilisées sans charges, sont les matrices des composites à hautes performances (constructions aéronautiques, espace, missiles, etc). Les résines époxydes conduisent à un ensemble de performances élevées.

#### *Avantages des résines époxydes :*

- ✓ De bonnes propriétés mécaniques (en traction, flexion, compression, choc, fluage, etc) supérieures à celles des polyesters,
- ✓ Une bonne tenue aux températures élevées : jusqu'à 150 °C à 190 °C en continu,
- ✓ Une excellente résistance chimique
- ✓ Une très bonne mouillabilité des renforts,
- ✓ Une excellente adhérence aux matériaux métalliques

#### *Inconvénients :*

- ✓ Un temps de polymérisation long
- ✓ Un coût élevé
- ✓ La nécessité de prendre des précautions lors de la mise en œuvre
- ✓ Une sensibilité à la fissuration

### I.2.2. Résines thermoplastiques :

La famille des résines thermoplastiques (on parle de "*plastiques*") est très vaste, et peut être séparée en plastiques de grande diffusion et plastiques techniques (ou technopolymères).

Les plastiques de grande diffusion sont mis en œuvre soit par injection pour obtenir des objets moulés, soit par extrusion pour obtenir des films, des plaques, des tubes, des profilés, etc. Les plastiques techniques sont généralement mis en œuvre par injection.

Parmi les résines thermoplastiques, nous citerons : le polychlorure de vinyle, le polyéthylène, le polypropylène, le polystyrène, le polyamide, le polycarbonate, etc. L'intérêt des thermoplastiques réside dans leur faible coût, résultant à la fois de matières premières disponibles et des procédés de fabrication. Toutefois, ce faible coût est lié à des propriétés mécaniques et thermomécaniques faibles.

Les divers thermoplastiques peuvent être renforcés par des fibres et font partie alors des matériaux composites. Cependant, dans le domaine des composites, les résines

thermoplastiques ont un développement limité, du fait de la nécessité de faire appel à des transformations à hautes températures de produits solides.

### **I.2.3. Résines thermostables :**

Les résines thermostables se distinguent des autres résines, précédemment considérées, essentiellement par leurs performances thermiques qui conservent leurs propriétés mécaniques pour des températures plus élevées que 200 °C. Dans la pratique nous retrouvons pour ces résines les deux grandes familles des résines thermoplastiques et thermodurcissables.

Les résines thermostables sont développées surtout dans les domaines de l'aviation et de l'espace, où les laboratoires cherchent à mettre au point de nouvelles résines. Parmi les résines thermostables, les résines bismaléimides et polyimides sont les plus utilisées.

Les résines bismaléimides sont des résines dont le réseau est élaboré à des températures de 180 à 200 °C. Les procédés de moulage sont identiques à ceux des composites à matrice thermodurcissable de type polyester ou époxyde.

Les résines polyimides sont apparues sur le marché vers 1970. Ce sont des résines à hautes résistance thermique, mais de prix très élevé. Ces résines permettent d'obtenir des composites de résistances supérieures, à 250 °C, à la résistance de l'aluminium. [2]

## **I. 3. Charges et additifs**

Différents produits peuvent être incorporés à la résine pour lui conférer des caractéristiques particulières ou en réduire le coût. La quantité des produits ajoutés peut varier de :

- ✓ Quelques dizaines de % dans le cas de charges
- ✓ À quelques % et moins dans le cas d'additif

L'addition de ces produits a pour fonction soit d'améliorer les caractéristiques mécaniques et physiques du produit fini, soit d'en faciliter la mise en œuvre. Nous donnons dans ce paragraphe des exemples de charges et d'additifs.

### **I.3.1.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 diminuer le coût des résines en conservant les performances des résines, soit d'améliorer certaines propriétés des résines.

### I.3.2. Additifs :

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

- ✓ Lubrification et agents de démoulage
- ✓ Pigments et colorants
- ✓ Agents anti-retrait
- ✓ Agents anti-ultraviolets

▪ **Lubrification et agents de démoulage :** ces additifs ont pour objet de faciliter le façonnage de la résine et réduire la tendance de la résine à adhérer aux moules, aux mandrins, etc.

▪ **Pigments et colorants :** les pigments sont des produits insolubles se présentant sous forme de poudre sous forme de paillettes. Ils sont obtenus à partir d'oxydes ou de sels métalliques. À partir de ces pigments, il est possible d'obtenir des pâtes colorantes constituées de dispersions de pigments dans une pâte, pour une utilisation aisée. Les colorants sont des composés organiques solubles dans un solvant adapté.

▪ **Agents anti-retrait et agents de fluage :** la polymérisation des résines conduit à une diminution des distances interatomiques du monomère initial. Il s'ensuit un retrait de la résine polymérisée, qui peut aboutir à un mauvais état de surface, à un gauchissement ou à des microfissurations des pièces moulées. Bien que l'incorporation des charges à la résine limite le retrait, il est souvent nécessaire d'ajouter des produits spécifiques anti-retrait, qui diminuent ou annulent le phénomène de retrait. Ces produits améliorent également l'écoulement de la matière dans certaines techniques de moulage. Ces agents anti-retrait sont généralement des produits à base thermoplastiques ou d'élastomères, se présentant sous forme de poudre ou en solution dans du styrène.

▪ **Agents anti-ultraviolets :** Les agents anti-ultraviolets ont pour fonction de protéger les résines de 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. [2]

#### I. 4. RENFORTS :

Les matériaux de renfort confèrent aux composites leurs caractéristiques mécaniques : rigidité, résistance à la rupture, dureté, etc. Ces renforts permettent également d'améliorer certaines des propriétés physiques : comportement thermique, tenue en température, tenue de feu, résistance à l'abrasion, propriétés électriques, etc. les caractéristiques recherchées pour les renforts sont : des caractéristiques mécaniques élevées, une masse volumique faible, une bonne compatibilité avec les résines, une bonne facilité de mise en œuvre, un faible coût, etc.

La figure suivante représente différents types de renforts (figure2):



**Fig.I. 2.**Types de renfort. [3]

En fonction des utilisations, les renforts peuvent être d'origines diverses : végétale, minérale, artificielle, synthétique, etc. Toutefois, les renforts les plus utilisés se présentent sous forme de fibres ou formes dérivées, et constituent une fraction volumique du matériau composite généralement comprise entre 0,3 et 0,7. Les renforts fibres se présentent sous diverses formes commerciales:

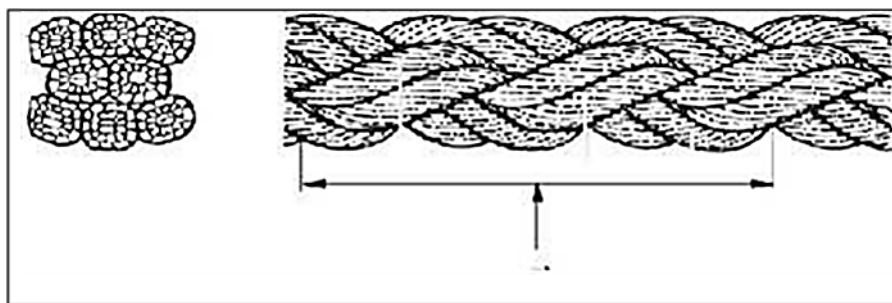
- ✓ Sous forme linéique (fils, mèches, etc).
- ✓ Sous forme de tissus surfaciques (tissus simples, mats, etc)
- ✓ Sous forme multidirectionnelle (tresses, tissus complexes, etc)

##### I.4.1. Formes linéiques:

Les fibres sont élaborées suivant un diamètre de quelques micromètres (une dizaine), et ne peuvent par conséquent pas être utilisées sous forme unitaire. Pour leur utilisation pratique, ces fibres sont réunies en fils ou en mèches de différentes formes. La nomenclature

générale des diverses formes linéiques est encore mal déterminée, et généralement dérivée de celle utilisée pour les fibres de verre.

La fibre unitaire est généralement appelée filament élémentaire ou monofilament. Les monofilaments sont en suite réunis en fils ou mèches (Figure 3). Les fils continus ou discontinus sont caractérisés par leur masse linéique. Cette masse linéique dépend du diamètre et du nombre de monofilaments.



**Fig.I.3.** Monofilaments réunis en mèches. [3]

#### I.4.2. Formes surfaciques:

Les fils peuvent être utilisés pour réaliser des formes surfaciques de divers types: mats, tissus ou rubans, essentiellement développés dans le cas de fibres de verre.

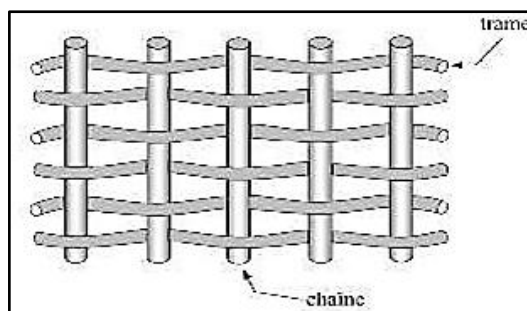
##### I.4.2.1. Mats

Les mats sont des nappes de fils continus ou discontinus, disposés dans un plan sans aucune orientation préférentielle. Ils sont maintenus ensemble par un liant soluble ou non dans les résines, suivant la mise en œuvre. L'absence d'orientation préférentielle des fibres conduit à une isotropie des propriétés mécaniques du mat dans son plan.

##### I.4.2.2. Tissus et rubans

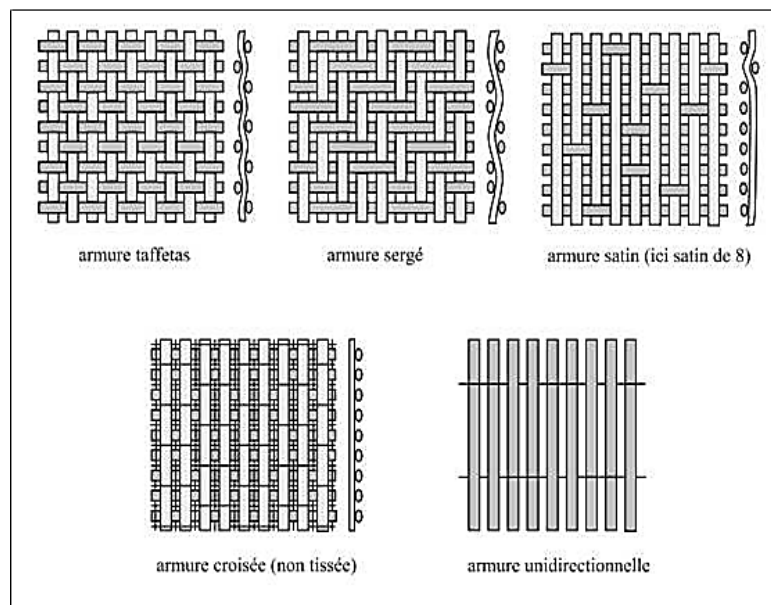
Un tissu (ou ruban) est un ensemble surfacique de fils, de mèche, etc., réalisé sur un métier à tisser. Il est constitué (Figure 4).

- ✓ D'une chaîne, ensemble de fils parallèles répartis dans un plan suivant la longueur du tissu .
- ✓ D'une trame, ensemble de fils s'entrecroisant avec les fils de chaîne.



**Fig.I.4 :** chaîne et trame d'un tissu.

Les tissus différents par le type de fils utilisés (fils simples, mèches, etc.), donc par la masse linéique des fils, et par le mode d'entrecroisement (ou armure) des fils de chaînes et des fils de trames. La figure I.5 illustre les armures classiques utilisées : toile ou taffetas, sergé, satin, armure croisée, armure unidirectionnelle

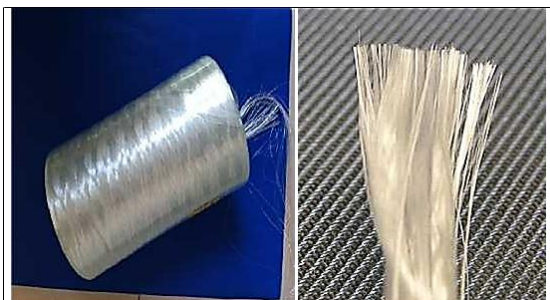


**Fig.I.5.** Les principaux types d'armures utilisées pour le tissage des tissus. [3]

### I.4.3. Différents types de fibres :

#### I .4.3.1. Fibres de verre:

Le verre sous forme massive est caractérisé par une très grande fragilité, attribuée à une sensibilité élevée à la fissuration. Par contre, élaboré sous forme de fibres de faibles diamètres (quelques dizaines de micromètre), le verre perd ce caractère et possède alors de bonnes caractéristiques mécaniques. Les fibres de verre sont élaborées à partir d'un verre filable, appelé verre textile, composé de silice ; alumine, chaux, magnésie, etc. Ces produits peu coûteux, associés à des procédés assez simples d'élaboration, confèrent aux fibres de verre un excellent rapport performances/prix, qui les place de loin au premier rang des renforts utilisés actuellement dans les matériaux composites.



**Fig.I.6.** Fibre de verre.

Suivant leurs compositions, différents types de verres filables peuvent être obtenus (tableau 1). Dans la pratique, les verres de type E constituent la presque totalité du tonnage de verre textile produit actuellement. Les autres verres, représentant globalement une faible quantité (environ 1%) sont réservés à des applications spécifiques:

- ✓ Le verre D, à hautes propriétés diélectriques, pour la construction de matériel électronique de télécommunications.
- ✓ Le verre C, résistant aux agents chimiques pour les couches superficielles des structures particulièrement exposées sur le plan chimique.
- ✓ Les verres R et S, à caractéristiques mécaniques élevées pour la réalisation de structures à hautes performances mécaniques.

Type	Caractéristiques générales
E	A usage général; bonnes propriétés électriques
D	Hautes propriétés diélectriques
A	Haute teneur en alcali
C	Bonne résistance chimique
R, S	Haute résistance mécanique

**Tableau. I. 1 :** Différents types de verres filables.

#### I.4.3.2. Fibres de carbone:

Les fibres de carbone possèdent de très bonnes caractéristiques mécaniques d'autant plus que leur masse volumique est faible (généralement inférieure à  $2000 \text{ Kg/m}^3$ ). Il faut noter que les fibres de carbone ont une excellente tenue en température, en atmosphère non oxydante. En effet, leurs caractéristiques mécaniques sont maintenues jusqu'à  $1500 \text{ }^\circ\text{C}$  environ.

Cette propriété a conduit à développer des composites fibres de carbone/matrice de carbone, à hautes tenue thermique, utilisés dans les tuyères de fusée, les plaquettes de freins (camion, avions), les éléments de fours, etc. ces matériaux, revêtus d'une couche protectrice anti-oxydante, trouvent également des applications en atmosphère oxydante dans le domaine spatial : bords, tuiles, etc.



**Fig.I.7.** Fibre de carbone

Le produit de base est le fil contenu ou stratifil carbone, constitué de monofilaments de carbone (par exemple : 500, 1000, 3000, 6000, 10000, etc. filaments) assemblés sans torsion. Ces stratifils peuvent être utilisés directement pour les procédés de fabrication de composites par pultrusion ou par enroulement filamentaire. Les stratifils peuvent être également tissés pour obtenir des rubans, des tresses, des tissus unidirectionnels ou multidirectionnels, des tissus hybrides (verre- carbone, Kevlar- carbone) etc. Ces diverses formes peuvent éventuellement être préimprégnées .

#### **I.4.3.3. Fibres d'aramide:**

Les fibres aramides à caractéristiques mécaniques élevées sont généralement connues sous le nom de "KEVLAR", nom commerciale de la fibre. Les fibres aramides sont des fibres polyaramides ou polyamides aromatiques. Les caractéristiques mécaniques des fibres aramides sont reportées dans le tableau 4 pour des monofilaments. Sur fils multifilaments, les caractéristiques sont généralement plus faibles. Leur utilisation est limitée par diverses faiblesses des matériaux composites à fibres aramides:

- ✓ Résistances faibles à la compression, à la flexion.
- ✓ Sensibilité au cisaillement

Ces faiblesses sont généralement attribuées à une mauvaise adhérence fibre-matrice. Pour y remédier, des ensimages adaptés sont développés .



**Fig.I.8.** Fibre d'aramide

#### **I.4.3.4. Fibres naturelles:**

Les fibres naturelles sont des fibres organiques d'origine animale ou bien végétales ou bien des fibres minérales. Les fibres végétales sont couramment utilisées car ce sont les fibres les plus disponibles. Leur structure complexe est assimilable à celle des matériaux composites renforcés par des fibrilles de cellulose disposées en hélice. [11]

### 1. Classification des fibres naturelles:

On peut subdiviser les fibres naturelles en trois grands groupes selon leur origine:

✓ Les fibres végétales : qui comprennent les fibres provenant des poils séminaux de graines(coton, kapok) ;les fibres libériennes extraites de tiges de plantes(lin, chanvre, jute, ramie) ;les fibres dures extraites de feuilles (sisal),de troncs(chanvre de manille), d'enveloppes de fruits(noix de coco).

✓ Les fibres animales : qui proviennent des poils, telle que la toison animale,et des sécrétions telle que la soie.

✓ Les fibres minérales : La fusion puis le fibrage de divers minéraux permet de produire des fibres ou des laines minérales plus ou moins denses et stables. Il existe deux types de fibres minérales : celles qui sont directement tissées de roches (exemples : amiante, wollastonite, sépiolite) et celles qui sont artificiellement produites à partir de minéraux (exemples : fibre de verre ou laine de verre produites à partir de la silice, laine de roche, fibre céramique réfractaire, fibre d'alumine). Les minéraux recherchés pour produire des fibres le sont pour leurs qualités d'inertie chimique et/ou thermique, parfois pour leurs propriétés optiques ou piézoélectriques mais d'abord pour leurs propriétés vitrifiantes. [11]

Dans notre travail nous avons utilisés des fibres naturelles végétale appelé le jute qui est une plante des régions tropicales (genre corchorus) appartenant à la famille tiliacées.

La tige atteint une hauteur de 4 à 6 m avec un diamètre d'environ 3cm. Le jute pousse essentiellement au Bangladesh qui détient un quasi-monopole de son commerce. Il en existe deux variétés (une rouge et une blanche), ce qui exige un triage préalable avant l'utilisation. La fibre ultime est très courte et très lignifiée. L'extraction de la fibre est obtenue par rouissage et décorticage. Après le rouissage, on détache la fibre, on nettoie la filasse et on rince à l'eau.

### 2. Intérêt de l'utilisation des fibres naturelles :

D'une manière générale, l'utilisation des fibres naturelles comme renfort de matériaux composites se justifie par :

✓ Valoriser une ressource locale dans des pays peu industrialisés, les composites à fibres naturelles ouvrant de nouveaux débouchés aux produits agricoles.

✓ Développer des matériaux et des technologies prenant en compte les impacts sur l'environnement. Les fibres naturelles sont des matériaux de qualité qui se fabriquent et se recyclent naturellement sur terre depuis des millions d'années. Dans cet esprit, on envisage de remplacer les fibres artificielles par des fibres naturelles, pour faire des économies, et parce que les matières premières renouvelables présentent des avantages écologiques. [11]

## I. 5. Mise en forme des matériaux composites:

La plupart des méthodes de mise en œuvre consistent à élaborer les pièces en matériaux composites par couches successives comportant matrice et renfort.

Les différents procédés les plus importants de mise en forme des composites sont :

### I.5.1. Moulage au contact :

Consiste à disposition successivement sur un moule Un agent de démoulage, Un gel coat, Une couche de résines thermodurcissable liquide (Figure I. 9)

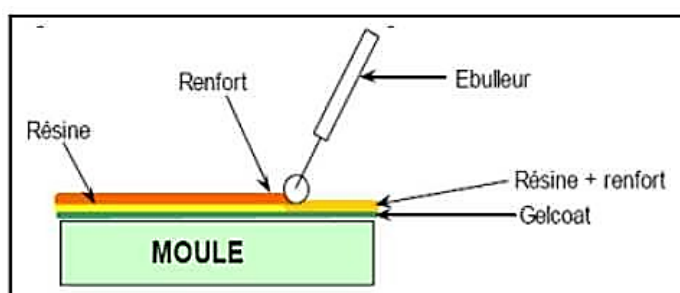


Fig. I.9.Principe du moulage au contact

### I. 5.2. Moulage par projection simultanée :

Le moulage est effectué par projection simultanée de fibres coupées et résine catalysée sur un moule. L'équipement à projeter est constitué d'une machine à couper le stratifil et d'un pistolet projetant la résine et les fibres coupées, l'ensemble fonctionnant par air comprimé. La couche de fibres imprégnées de résine est ensuite compactée et débarrassée des bulles au rouleau cannelé (Figure I. 10).

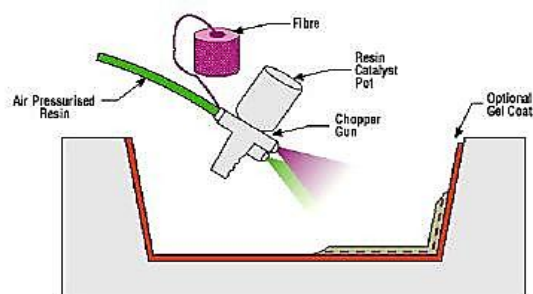


Fig.I.10. Principe du moulage par projection simultanée

### I.5.3. Moulage sous vide :

Le moulage sous vide consiste à utiliser simultanément le vide et la pression atmosphérique. Après enduction de gel-coat, on dispose le renfort sur un moule rigide, puis

on coule la matrice. Le contre-moule, recouvert d'une membrane assurant l'étanchéité (feuille de caoutchouc, nylon, etc.), est ensuite emboîté. Une pompe à vide crée une dépression à travers le moule et le contre-moule poreux, qui étale et débulle la résine. Le contre-moule peut éventuellement être limité à la seule membrane d'étanchéité. [6]

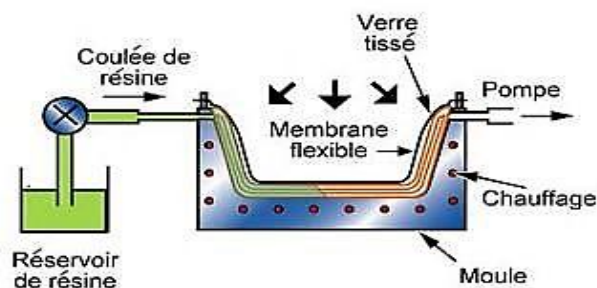


Fig. I. 11. Méthode du moulage sous vide

#### I.5.4. Moulage par injection de résine ou RTM:

Le moulage consiste, par injection de résine sous pression, à imprégner un renfort placé à l'intérieur d'un ensemble moule et contre-moule très rigide et fermé.

L'alimentation automatique des résines élimine leur manipulation. La proportion de renfort peut être élevée, d'où l'obtention de pièces à caractéristiques mécaniques élevées. Ce procédé de moulage convient à la réalisation de pièces profondes et de formes compliquées (Figure I. 12). L'injection de la résine se fait habituellement à de basse pression de l'ordre de 0,3 MPa .

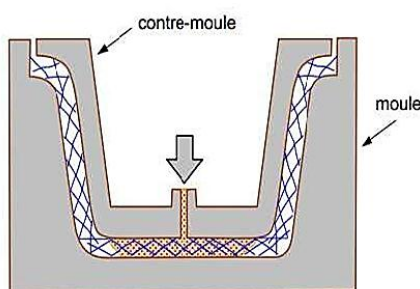
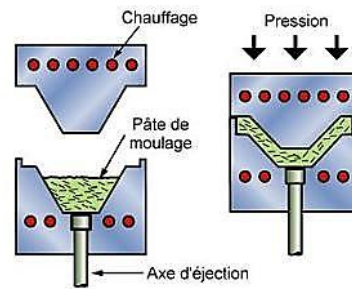


Fig.I.12. Principe du moulage RTM. [6]

#### I. 5. 5. Moulage par compression :

Le moulage par compression est l'un des procédés les plus économiques pour la production de grandes séries de pièces de petites et de moyennes dimensions. Dans ce procédé, on place une préforme de compound de moulage (résine, renfort, catalyseur et additifs déjà pré mélangés dans des proportions optimales) dans la cavité d'un moule chauffé, et ensuite on la presse aux dimensions finales. On utilise des pressions qui vont de 0.5 à 15 MPa.



**Fig.I.13.** Méthode de moulage par compression

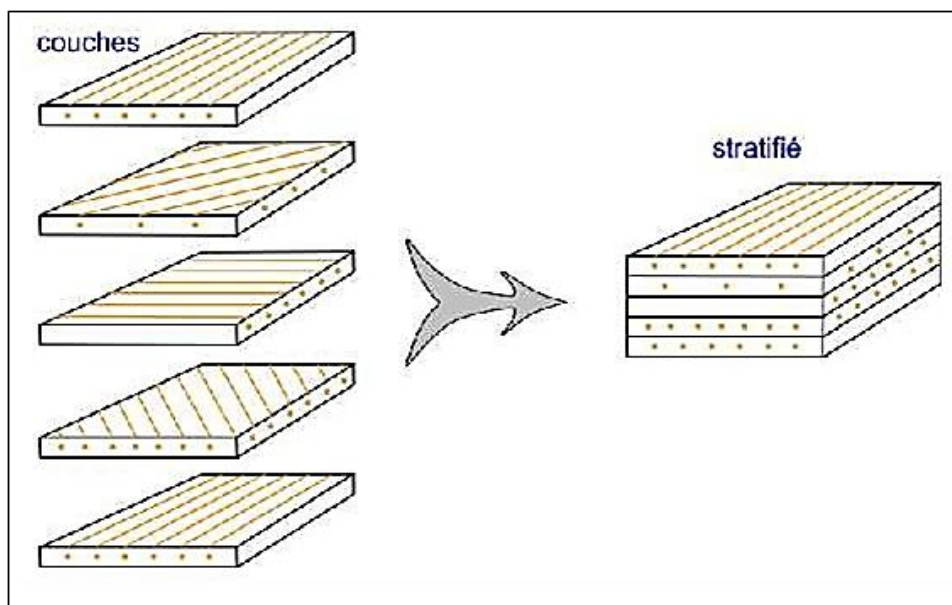
## I. 6. Architecture des matériaux composites :

L'ensemble des procédés de mise en œuvre montre la prépondérance d'une conception des pièces en matériaux composites :

- Par surface : plaques, coques,
- Par stratification de couches successives.

### I.6.1. Stratifiés :

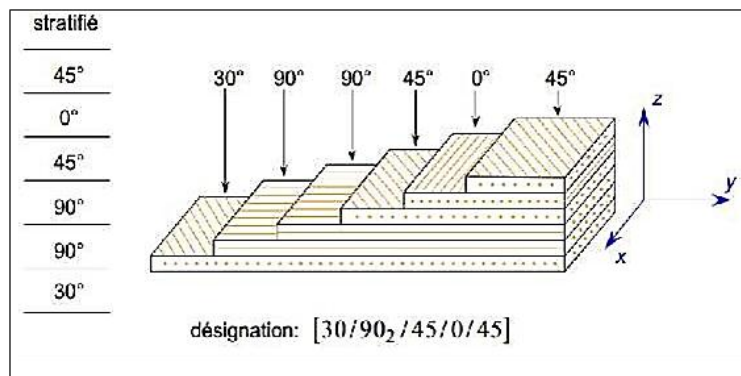
Les stratifiés sont constitués (figure I.14) de couches successives (appelées parfois plis) de renforts (fils, stratifils, mats, tissus, etc.) imprégnés de résines. Nous examinons les divers types de stratifiés.



**Fig.I.14.** Constitution d'un stratifié. [2]

### I.6.1.1. Stratifiés à base de fils ou de tissus unidirectionnels :

Les stratifiés à base de fils ou de tissus unidirectionnels constituent un type de stratifié de base auquel peut se ramener en théorie tout autre type de stratifié. Ces stratifiés sont constitués (figure I. 15) de couches de fils ou de tissus unidirectionnels, dont la direction est décalée dans chaque couche.



**Fig.I.15.** Désignation d'un stratifié. [2]

La désignation de ces stratifiés est généralement effectuée selon le code suivant :

1. Chaque couche est désignée par un nombre indiquant la valeur en degrés de l'angle que fait la direction des fibres avec l'axe x de référence.

2. Les couches successives sont séparées par un / si leurs angles sont différents.

3. Les couches successives de même orientation sont désignées par un indice numérique.

4. Les couches sont nommées successivement en allant d'une face à l'autre. Des crochets (ou parenthèses) indiquent le début et la fin du code.

La désignation dépend du système d'axes choisi. Un exemple est donné à la figure I. 17.

### I.6.1.2. Structure générale d'un stratifié :

Dans le cas général, le renfort de chaque couche sera de natures diverses : fils, stratifils, mats, tissus, fibres de verre, fibres de carbone, etc. Chaque couche doit alors être désignée par l'indication de la nature des fibres, du type de renfort : fils, mat, tissu avec indication de la proportion de fibres suivant le sens chaîne et trame.

Le choix de la nature et de la séquence des couches dépendra de l'utilisation du matériau composite, en l'adaptant au mieux au champ des contraintes imposées :

- Les couches unidirectionnelles ont de bonnes performances mécaniques dans la direction des fibres ;

- Les mats sont peu résistants en traction et devront être réservés aux zones comprimées;
- Une stratification croisée sera sensible au délaminage interlaminaire;
- Une stratification avec au moins trois directions de fibres sera nécessaire pour avoir une pseudo-isotropie dans le plan du stratifié.

Enfin, il est intéressant de noter qu'une stratification symétrique garantira généralement une bonne planéité du stratifié après démoulage.

### I. 6.2. Composites sandwichs :

Le principe de la technique sandwich consiste à appliquer sur une âme mat unidirectionnel (constituée d'un matériau ou d'une structure légère possédant de bonnes propriétés en compression) deux "feuilles", appelées peaux, possédant de bonnes caractéristiques en traction. L'objectif d'un tel procédé est de constituer une structure permettant de concilier légèreté et rigidité.

Généralement, le choix des matériaux est fait avec pour objectif initial d'avoir une masse minimale en tenant compte ensuite des conditions d'utilisation (conditions thermiques, corrosion, prix, etc.).

Les matériaux les plus couramment utilisés sont :

- Pour les âmes pleines (figure I.16) :
  - le balsa ou bois cellulaire ;
  - diverses mousses cellulaires ;
  - des résines chargées de microsphères creuses de verre, appelées mousses syntactiques.

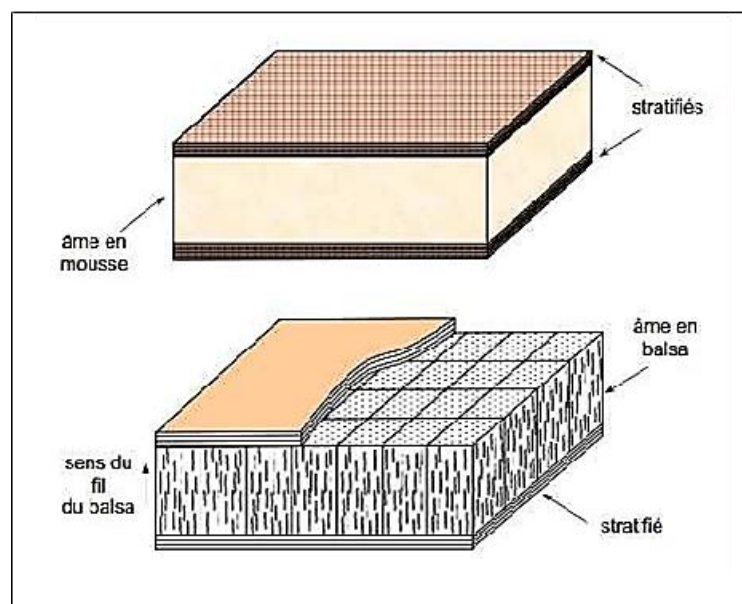
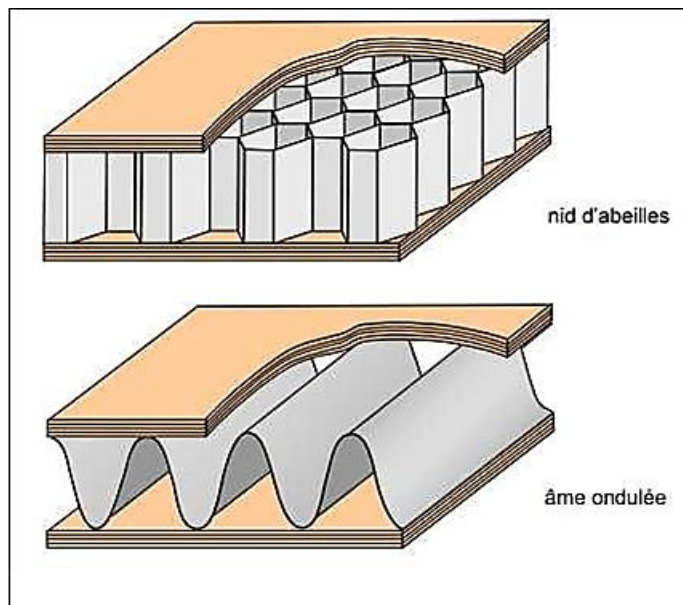


Fig.I.16. Matériaux sandwichs à âmes pleines. [2]

- Pour les âmes creuses (figure I.17), essentiellement nid d'abeilles et profilés :
- des alliages métalliques légers ;
- du papier kraft (enduit ou non de résine) ;
- du papier polyamide, type papier Nomex ;



**Fig.I.17.** Matériaux sandwichs à âmes creuses. [2]

Des âmes mixtes peuvent être utilisées. Les peaux sont le plus souvent des stratifiés (verre, carbone, Kevlar) ou des feuilles d'alliages légers.

Pour que les structures sandwichs jouent pleinement leur rôle, il est nécessaire de veiller à avoir une solidarisation parfaite de l'ensemble âme-peaux, de manière à répartir les efforts entre âme et peaux. L'assemblage est réalisé par un collage à l'aide de résines compatibles avec les matériaux en présence.

#### **Autres architectures :**

Les autres architectures des matériaux composites peuvent être schématiquement classées en : plastiques renforcés et composites volumiques.

### **I. 7. Domaine d'utilisation des matériaux composites**

- L'industrie aérospatiale.
- Le transport aérien, routier et ferroviaire.
- domaine militaire : Hélicoptère, Fusée, Avions ...etc.
- canalisation.
- Construction navales.
- Sports et loisirs. [4]

**I. 8. Conclusion :**

La présente description nous permettra de donner une idée générale sur les matériaux composites.

Les matériaux composites disposent d'atouts importants par rapport aux matériaux traditionnels. Ils apportent de nombreux avantages fonctionnels : légèreté, résistance mécanique et chimique, maintenance réduite, liberté de formes. Ils permettent d'augmenter la durée de vie de certains équipements grâce à leurs propriétés mécaniques et chimiques. Ils contribuent au renforcement de la sécurité grâce à une meilleure tenue aux chocs et au feu. Ils offrent une meilleure isolation thermique ou phonique et, pour certains d'entre eux, une bonne isolation électrique.



**CHPITRE II :**  
***Généralités sur les***  
***fibres végétales***

## II. 1. Introduction

Depuis l'Antiquité, l'homme a élaboré des matériaux composites par combinaison de matières de natures différentes dans le but d'obtenir des matériaux aux propriétés spécifiques.

De nombreux matériaux naturels lui ont fourni des modèles, tel que l'os rigide mais léger, formé de fibres de collagène dans une matrice minérale d'apatite dure et fragile, ou le bois, souple mais résistant formée d'un réseau de microfibrille de cellulose cimentée dans une matrice d'hémicellulose et lignine [1, 2].

La famille des matériaux composites à fibres, apparue dans les années 1940 n'a cessé de se développer en raison de leurs propriétés mécaniques associées souvent à une faible densité. Leur bon rapport coût/performance leur a ouvert une très large gamme d'application dans des domaines variés ; l'industrie aérospace, automobile, maritime, ferroviaire, le bâtiment, l'ameublement, la décoration etc [3].

Toutefois, même si le développement des composites est qualifié de prometteur cette progression est néanmoins jalonné de quelque contrainte à surmonter dont par exemple celles liées à l'environnement, l'hygiène et la sécurité.

La valorisation des matériaux composites classiques avec leur armature en fibres de verre, d'aramide, ou bien de carbone pose un grand problème à leur fin de vie. Pour y palier les fibres naturelles sont mises.

Elles sont issues de ressources renouvelables elles sont biodégradables. Elles sont moins irritantes pour la peau et le système respiratoire des personnes qui les manipulent. Par ailleurs les fibres naturelles ont une densité plus faible que les fibres minérales [4, 5].

## II. 2. Les fibres naturelles

### II.2.1. Définition :

Les fibres naturelles sont des substances filamenteuses issues de végétaux et d'animaux, susceptibles d'être filées pour fabriquer des fils et des cordes. Elles sont tissées, tricotées ou tressées pour confectionner des textiles indispensables à la société [16].

### II.2.2. Classification des fibres naturelles :

Les fibres naturelles sont pour la plupart d'origine végétale, animale et minérale (Fig. II.1).

- **Végétale** : extraite de plantes, de fruit et d'arbres comme le coton, le lin, l'agave, le jute, le chanvre, etc.

- **Animale** : extraites de poil d'animaux comme le mouton, la chèvre, le lama, etc.

• **Minérale** : on trouve dans la nature des minéraux dont la texture fibreuse. il s'agit d'une matière toxique, comme l'amiante [18].

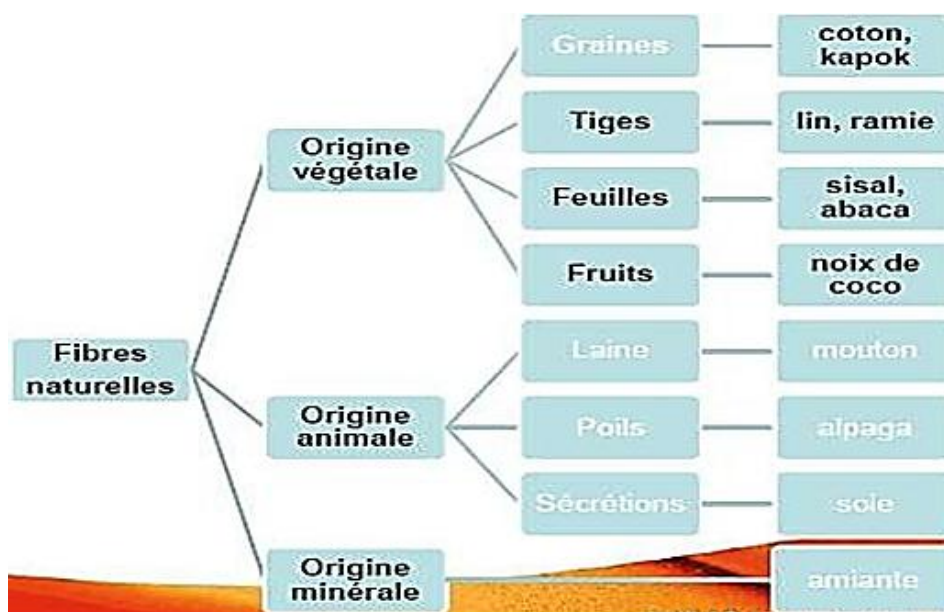


Fig.II.1. Classification des fibres naturelles selon l'origine.

## II. 3. Les fibres végétales :

### II.3.1. Définition des fibres végétales

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 [19].

### II.3.2. Classification des fibres végétales

Les fibres végétales sont classées en quatre groupes suivant leur provenance à savoir : les fibres de feuille, de tiges, de bois et de surface [4].

- **Les fibres de 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

- **Les fibres de 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 sont commercialisé

es sous forme de paquet de cor et en toute longueur. Les fibres de tige les plus utilisées sont les fibres de jute, de lin, de ramie, de kenaf, et de chanvre.

- **Les fibres de bois**

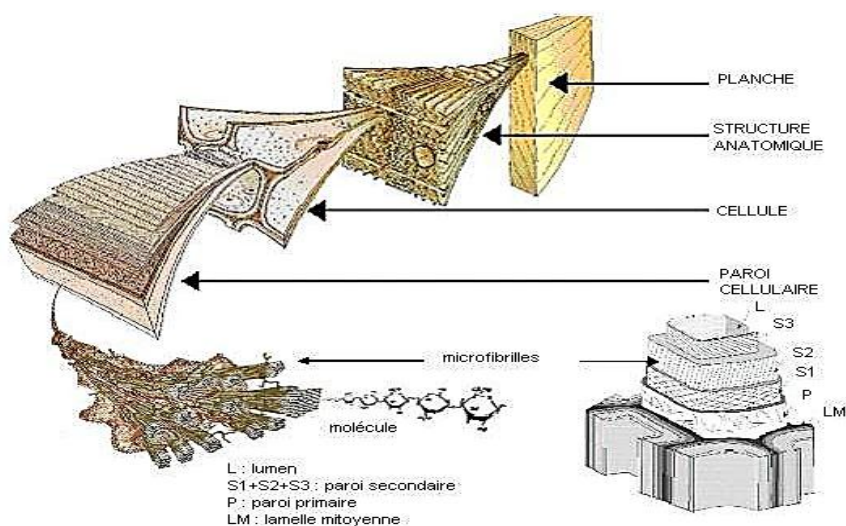
Les fibres de bois proviennent du broyage des arbres tels que les bambous ou les roseaux. Elles sont généralement courtes.

- **Les fibres de surface**

Les fibres de surface entourent en général la surface de la tige, de fruits ou de grains. Les fibres de surface des grains constituent le groupe le plus important dans cette famille de fibres. Nous citons entre autres le coton et la noix de coco.

### II. 3. 3. Structure de la fibre végétale :

La fibre végétale est un composite en elle-même. Le renfort est constitué par les couches de micro fibrille celluloses 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. La fibre végétale est composée de plusieurs parois parallèles à l'axe de la fibre et disposée en couche superposée dans le sens radiale. Ces différentes couches qui forment la lamelle mitoyenne, la paroi primaire et la paroi secondaire. Ces dernières bordent un lumen de diamètre variable suivant l'espèce. La paroi secondaire est composée de trois couches de micro fibrilles (S1, S2, S3) (Fig. II. 2) [19].



**Fig. II.2.** Structure de la fibre végétale

Les micros-fibrilles décrivent par rapport à l'axe de la fibre, un angle micro fibrillaire dont la valeur varie d'une espèce à l'autre. L'orientation du micro fibrilles par rapport à l'axe de la cellule joue un grand rôle dans les propriétés mécaniques des parois des fibres, plus que l'angle des micros fibrilles augmente, le module d'Young (une mesure de la rigidité) décroît, tandis que l'extensibilité des parois augment [19].

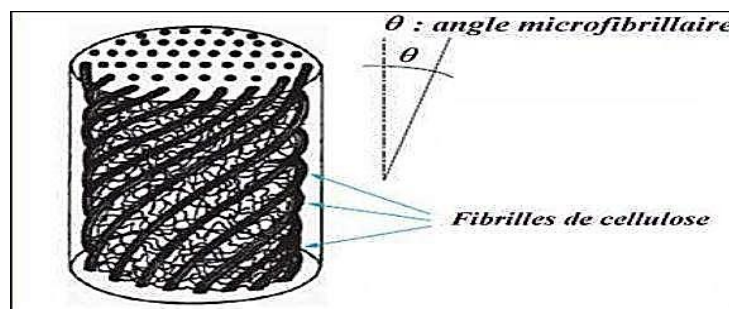


Fig. II.3. Modèle de la description de structure d'une fibre végétale

### II.3.4. Composition chimique de la fibre végétale

Les différents constituants des fibres végétales (Fig.II.4) sont :

❖ **La Cellulose** : La cellulose est le principal composant dans la quasi-totalité des fibres végétales et représente la matière la plus abondante sur la surface de la terre (plus de 50 % de la biomasse) [20]. C'est un polymère naturel du premier plan. Généralement, les fibres végétales sont constituées par une chaîne des fibres en cellulose [4].

❖ **Hémicellulose** : Les hémicelluloses représentent le 3<sup>ème</sup> composant principal juste après la cellulose et la lignine, avec une proportion en poids à peu près 25% de la biomasse [20]. L'hémicellulose présente dans toutes les parois de ces fibres. C'est le constituant responsable de l'élasticité des fibres [4].

❖ **Lignine** : La lignine forme avec la cellulose et l'hémicellulose la grande majorité de la biomasse, elle est 2<sup>ème</sup> après la cellulose en termes d'abondance. Ses principales fonctions sont d'apporter de la rigidité, une imperméabilité à l'eau et une grande résistance à la décomposition (barrière de protection biologique) [19]. La lignine constitue la colle qui lie les fibres végétales entre elles ainsi que leurs parois. C'est un polymère tridimensionnel [4].

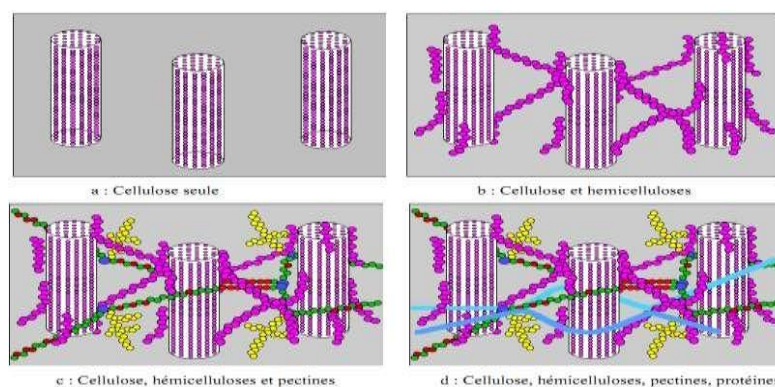
❖ **Pectines** : Les pectines jouent un rôle capital dans l'architecture de la paroi végétale. Ces substances pectiques sont présentes avec des proportions variées dans la plupart des végétaux (environ 1% dans le bois) [19].

❖ **Extractibles** : Ce sont des molécules de faible masse molaire qui remplissent la lumière des cellules. Ils représentent 2 à 5 % de la masse sèche. La plupart de ces extractibles sont solubles dans l'eau ou des solvants organiques [19].

Le tableau II.1 illustre Composition chimique (en %) de différentes fibres végétales

Fibres	Cellulose	Hémicelluloses	Lignine	Pectine	Cire
<b>Coton</b>	85-90	5,7	0,7-1,6	0-1	0,6
<b>Lin</b>	71	18,6-20,6	2,2	2,3	1,7
<b>Chanvre</b>	70-74	17,9-22,4	3,7-5,7	0,9	0,8
<b>Jute</b>	61,1-71,5	13,6-20,4	12-13	0,2	0,5
<b>Ramie</b>	68,6-76,2	13,1-16,7	0,6-0,7	1,9	0,3
<b>Sisal</b>	66-78	10-14	10-14	10	2
<b>Coco</b>	32-43	0,15-0,25	40-45	3-4	-
<b>Alfa</b>	45	24	24	5	2

**Tab.II.1.**Composition chimique (en %) de différentes fibres végétales



**Fig.II.4.** Exemple de représentation schématique de l'agencement des différents composants des fibres végétales à l'échelle micrométrique

### II.3.5. Caractéristiques physiques et mécaniques des fibres végétales :

Généralement une fibre végétale est caractérisée physiquement par son diamètre sa densité et son teneur en eau et son pourcentage d'absorption d'eau. Et elle est caractérisée mécaniquement par sa résistance à la traction, son élongation à la rupture et son module d'élasticité [4]. Le tableau.II.2 représente les caractéristiques mécaniques de quelques fibres végétales.

Fibre	Densité (g/cm <sup>3</sup> )	Module de traction (GPa)	Résistance en traction (MPa)	Allongement (%)
Lin	1,5	28	345-1100	2.7-3.2
Jute	1.45	13-27	350-550	1,2-2,5
Chanvre	1,48	29-70	550-900	1,6-3,5
Ramie	1,5	20-70	550-900	1,6-4
kénaf	1,47	6-8	1580	2,7
Abaca	1,35	20	900	3,5
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

**Tab.II.2.** Les caractéristiques mécaniques de quelques fibres Végétales.

## II. 4. Différentes fibres végétales

Les fibres végétales sont de plus en plus utilisées comme renfort dans les matériaux de constructions. Elles constituent en effet une ressource renouvelable, naturellement biodégradable, et disposant de nombreuses qualités mécaniques et hydriques.

Les plus utilisées sont les fibres libériennes, comme le Kenaf, le jute, la ramie, le palmier et surtout le chanvre et le lin [20].

### II. 4. 1. L'abaca

L'abaca ou chanvre de manille est un bananier textile (Musacées) qui pousse aux philippines: les fibres dans les gaines foliaires forment un pseudotrunc très recherché pour la fabrication de cordages légers et insubmersibles, et aussi de rabanes, nappes, stores, vêtements [22] (**Fig. II.5**).



**Fig.II.5.** Fibre de l'abaca

### II. 4. 2. Le lin

Le lin est une plante annuelle qui pousse dans le monde entier, aussi bien en Asie qu'en Europe. La fibre de lin vient des tiges de la plante mais aussi de l'huile extraite des graines(Fig.II.6). L'avantage de cette fibre est sa longueur élevée, en moyenne 25 mm et sa bonne résistance. Le lin peut être utilisé comme substitut au coton.Cette fibre est utilisée pour fabriquer des papiers fins comme les papiers à cigarette ou le papier bible.



**Fig.II.6.**Fibre de lin

Les fibres du lin permettent de faire des cordes, du tissu, ou plus récemment des charges isolantes pour des matériaux de construction. Les graines sont utilisées pour produire de l'huile de lin pour l'industrie de l'encre et de la peinture, pour la consommation humaine et animale, à cause de sa richesse en oméga 3. Le lin est une des rares fibres textiles végétales européennes. Elle a la particularité d'être une fibre longue (plusieurs dizaines de centimètres), par rapport aux fibres courtes (coton, chanvre) ou moyennes (laine)

### II. 4. 3. Le chanvre

Le chanvre est une fibre libérienne, tout comme le lin, le Kenaf, le jute et la ramie. Les plantes de cette famille présentent toutes des fibres externes longues et étroites et des fibres internes ligneuses(Fig.II.7). Par ses possibilités techniques, la fibre de chanvre répond à des besoins textiles traditionnels tout en ouvrant la voie à une foule d'innovations. Cultivé dans les pays à climat tempéré, on en trouve dans l'est de l'Europe, en France et en Italie. La France est le premier producteur en Europe pour la production de chanvre, Les fibres libériennes sont généralement transformées en textiles (tapis et vêtements) et en produits industriels comme des géotextiles, de la toile anti-érosion, du renfort de composite et dur emplissage ce qui constitue d'ailleurs le principal emploi actuel et à venir de la fibre de chanvre. A cause de sa grande solidité et de son intérêt économique. Ses caractéristiques physiques lui confèrent une grande force, ainsi qu'une excellente rentabilité dans le domaine des composites et du papier.



**Fig.II.7.**Fibre de chanvre

Le chanvre est originaire d'Asie centrale mais on trouve sa trace en Chine 5000 ans avant JC. Au tour du bassin méditerranéen sa culture a été prospère pendant plusieurs siècles. On l'utilise pour faire des toiles de maison, des cordages maritimes, des vêtements et plus tard du papier.

#### **II. 4. 4. Le coton**

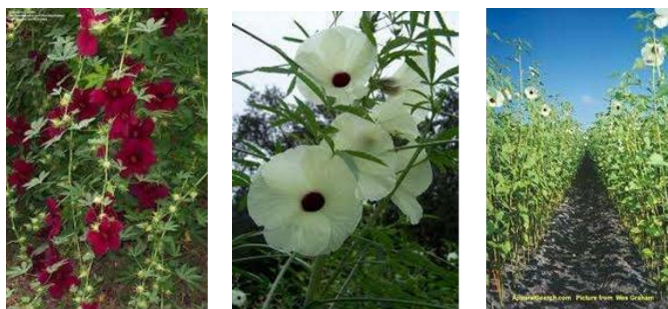
Le cotonnier est un petit arbuste annuel de 1 à 1,50 m de haut (Fig. II.8). Il est cultivé dans les zones chaudes d'Amérique, d'Afrique, d'Asie et mêmes d'Europe (Espagne). Les fibres de coton proviennent des graines, et sont appelés linters. Cette fibre est utilisée pour ses bonnes caractéristiques physique et mécanique. Elle est utilisée pour des papiers dits de luxe. Elles sont également utilisées pour les papiers fiduciaires et principalement pour les billets de banques, papiers pour lesquels la caractéristique essentielle est la résistance au pliage.



**Fig.II.8.**Fibre de coton

#### **II. 4. 5. Le Kenaf**

Le Kenaf est une plante herbacée dont la tige peut atteindre 3 m de haut. Il se trouve principalement dans les régions tropicales et en Amérique du sud. Elle est destinée uniquement pour le domaine papetier. La longueur moyenne des fibres (1,5 mm) est comprise entre celle des fibres de feuillus et celle des fibres de résineux(Fig.II.9).



**Fig.II.9.**Fibre de le kénaf

Le Kenaf porte de nombreux noms autour du monde : chanvre de Deccan, chanvre de Bombay, chanvre de Guinée, Po kaeo...

Cette plante ne supporte pas le gel, on la trouve dans les régions tropicales et subtropicales. Africaine d'origine, elle est cultivée aussi en Asie et en Amérique du Sud, là où les conditions climatiques lui conviennent.

#### II. 4. 6. Le jute

Le jute est une plante buissonnante originaire du sud-est asiatique. Les principaux producteurs sont l'Inde et le Bangladesh. Les fibres utilisées en papeterie sont les déchets de culture et de filature. La longueur moyenne des fibres est de 2 mm, avec une largeur de 20  $\mu\text{m}$ . Les caractéristiques de ces fibres sont généralement assimilées à celles du kénaf (Fig.II.10)



**Fig. II.10.** Fibre de jute

Le jute (deux espèces cultivées, *Corchorusolitorius* L., et *C. capsularis* L., Tiliaceae, "chanvre du bengale") est fortement lignifié, robuste, sert à fabriquer des sacs solides (pour le charbon, les pommes de terre), et des semelles d'espadrilles.

#### II. 4. 7. Le sisal

Le sisal est une plante vivace constituée par une rosette de grandes feuilles à section triangulaire allant jusqu'à 2m de long (Fig.II.12). Ils'agit d'une plante tropicale, principalement cultivé en Amérique du sud et en Afrique. La longueur moyenne de ces fibres est de 3 mm. La figure (II.12) représente la fibre de jute.



**Fig. II.11.**Fibre de Sisal

Le sisal provient d'un agave originaire du Mexique dont les feuilles possèdent de longues fibres très résistantes utilisées pour la fabrication de cordages, tissus grossiers, tapis, sacs et autres objets artisanaux ou à usage domestique, destinés le plus souvent à l'exportation. Il s'agit d'une plante tropicale, principalement cultivé en Amérique du sud et en Afrique. Le Sud Malgache est une zone de culture de cette plante. Les conditions climatiques font que ces fibres de sisal sont bien classées sur le marché international des fibres dures.

Son nom provient de la ville de Sisal, située dans l'état mexicain du Yucatán. C'est à partir du port de Sisal qu'étaient expédiées les fibres dans le monde entier. Elle était jusque dans les années 1970 bien connue des agriculteurs européens sous forme de ficelle servant à lier les bottes de foin. Elle a, depuis l'apparition des presses à bottes haute densité, été remplacée par de la ficelle en polypropylène.

Actuellement encore, les mouvements scouts et éclaireurs utilisent beaucoup ce type de ficelle pour assembler les constructions du mobilier de camp, assemblage selon la méthode Froissart où nœuds ni vis ne sont utilisés.

Elle est également utilisée dans la fabrication des cibles traditionnelles de jeu de fléchettes ou de tir à l'arc. On l'utilise également pour fabriquer des disques de polissage. Elle trouve aussi son utilité dans le bâtiment (construction), en effet les fibres de cette plante sont utilisées comment stabilisateurs (par armature) dans le béton de terre (terre crue).

Le sisal peut être teint et on le trouve parfois associé à d'autres fibres végétales. Il absorbe l'humidité des pièces dans lequel il se trouve. Il convient particulièrement aux chambres. Très doux, le tissage du sisal est très agréable.

Les Aztèques savaient déjà utiliser le sisal pour en faire du papier, du fil à coudre, des cordes, des nattes et des chaussures

#### II. 4. 8. La ramie

La ramie est une plante arbustive. Originaires d'Asie de l'Est, la ramie a pour principaux producteurs la Chine, le Japon et l'Amérique. La longueur moyenne des fibres est comprise entre 40 et 250 mm, pour un diamètre moyen de 45  $\mu\text{m}$ . Ces fibres ressemblent aux fibres de lin mais sont encore plus longues, plus solides et plus rigides. La figure (II.12) représente une fibre de ramie.



Fig. II.12. Fibre de ramie

Les fibres des tiges de la ramie (*Boehmerianivea* (L.) Gandisch, Urticaceae, "ortie de Chine") sont constituées de cellulose quasi pure de très bonne qualité et utilisées pour le tissage et la fabrication de papiers résistants. Les fibres sont longues (50 à 250 mm), très solides (un fil ne peut être cassé à la main), imputrescibles, brillantes de sorte que les étoffes rappellent la soie et ont été qualifiées de "soie végétale".

#### II. 4. 9. Le coco

Les fibres de coco proviennent de la couche fibreuse qui entoure la noix de coco. Elles sont filées et tissées après avoir été assouplies dans l'eau (Fig. II.13). Le filage grossier et irrégulier donne au coco un aspect rustique. Le coco est très résistant, il est isolant, imputrescible et antibactérien. On utilise plutôt dans des pièces spacieuses et lorsqu'on veut mettre en avant son côté rustique.



Fig. II.13. Fibre de coco

#### II. 4. 10. L'alfa

L'alfa, *Stipa tenacissima* L., est une plante herbacée (Graminées) d'Afrique du Nord et d'Espagne (ou spart) utilisée pour la fabrication de cordages, d'espadrilles, de tissus grossiers, de papier, tapis, paniers. D'une façon générale, la fabrication d'objets en fibres végétales se nomme sparterie.



**Fig.II.14.** Fibre d'alfa

#### II. 4. 11. Palmier dattier

Le palmier dattier se constitue principalement de 10 parties à savoir : les palmes, la jeune palme, le régime de dattes, les dattes, le gourmand, Le stipe, les cicatrices annulaires, le rejet, le bulbe, les racines [8]. Figure (II.15) illustre la fibre de palmier dattier.



**Fig. II .14.**Fibre de palmier dattier.

### II. 5. Avantages et inconvénients :

Avantage :

- ✓ Faible cout.
- ✓ Propriétés mécaniques spécifiques importants (résistance et rigidité).
- ✓ Biodégradabilité.
- ✓ Non abrasif pour les outillages.
- ✓ Neutre pour l'émission de co2.
- ✓ Demande peu d'énergie pour être produite.
- ✓ Pas de résidus après incinération.
- ✓ Pas d'irritation cutanée lors de la manipulation des fibres.
- ✓ Bonne isolation thermique et acoustique.

- ✓ Ressource renouvelable.

Inconvénients :

- ✓ Absorption d'eau.
- ✓ Faible stabilité dimensionnelle.
- ✓ Biodégradabilité.
- ✓ Faible tenu thermique (20 à 30°C max).
- ✓ Fibres anisotropes.
- ✓ Variation de qualité en fonction du lieu de croissance, de la météo.
- ✓ Pour des applications industrielles demande la gestion d'un stock.

## II. 6. Perspectives d'avenir

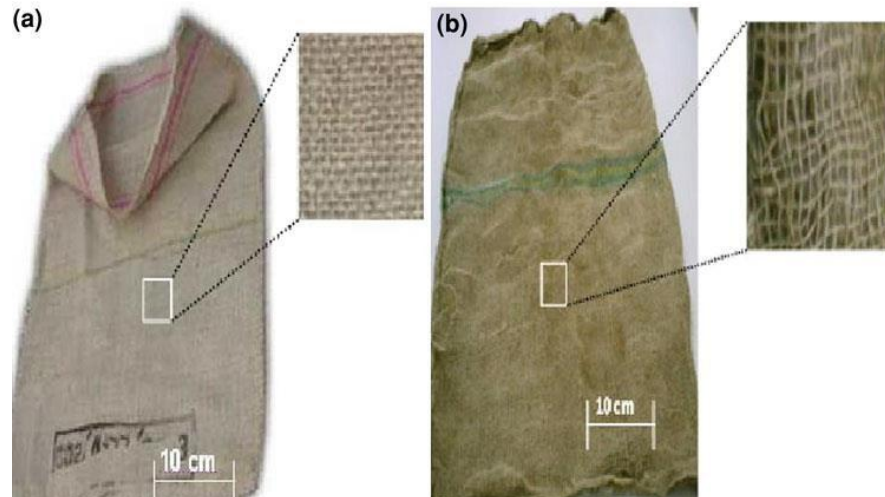
Dans le contexte écologique actuel, les actions en faveur de l'éco-conception amènent les industriels à étudier et intégrer les fibres naturelles pour leurs performances mécaniques et leur renouvelabilité.

Deuxième fibre naturelle la plus produite au monde derrière le coton, le jute pousse principalement dans le golfe du Bengale : plus de 90% de la production de cette fibre se répartit entre le Bangladesh et l'état indien limitrophe du Bengale occidental.

Malheureusement la plupart des applications du jute aujourd'hui restent à faible valeur ajoutée (sacs, géotextiles, tapis, etc.) et souffrent de la concurrence des matières synthétiques. Les utilisations du jute sont en plein essor dans le monde entier car le secteur manufacturier s'intéresse de plus en plus aux matières biodégradables respectueuses de l'environnement qui peuvent se substituer aux matières synthétiques. Cependant les producteurs de jute et le secteur de transformation n'ont guère innové en matière de production et de transformation.

En utilisation continue, le sac de jute perd de sa force et donc sa capacité à stocker des produits est diminuée, en quel cas il est considéré comme un déchet et généralement disposé comme poubelle ou brûlé. Ces deux modes d'élimination contribuent à pollution locale et émission de gaz à effet de serre responsables pour le réchauffement climatique. La possibilité d'utiliser le tissu de toile de jute, même en état effiloché, serait une solution environnementale appropriée. Une telle méthode est de utiliser ce tissu de jute, en pourcentage limité, comme renfort dans une matrice de polymère appropriée, qui peut être forte et assez rigide pour rivaliser avec les produits en bois et autres matériaux conventionnels pour la construction et le mobilier. En conséquence, le coût du composite dépendrait plus de la résine polymère utilisée comme matrice que sur les déchets de tissu de jute. En conséquence, recyclés les plastiques peuvent être utilisés comme matrice pour réduire les coûts environnementaux composites.

appropriés.



**Fig. II. 15.** Toile de jute

**a)** Un nouveau, **b)** mis au rebut après utilisation [7]

## II. 7. Conclusion

Les fibres naturelles présentent de nombreux avantages (faible coût, ressource renouvelable, biodégradabilité, propriétés mécaniques spécifiques importantes (résistance et rigidité). Comme tous les produits naturels, les propriétés mécaniques et physiques des fibres naturelles varient considérablement. Ces propriétés sont gouvernées par la composition chimique et structurale et dépendent du type de la fibre. La cellulose, le composant principal de toutes les fibres végétales, varie d'une fibre à une autre.



**CHPITRE III :**

*Matériaux et  
techniques  
expérimentales*

### III. 1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter les matériaux utilisés et leur caractéristique, ainsi que la technique de moulage et les essais de caractérisation du bio-composite.

### III. 2. Matériaux utilisés

Les deux constituants principaux utilisés dans notre travail pour l'élaboration des bio-composites sont :

- ✓ Résine polyester insaturée comme matrice (fournie par MEGREB-PIPE Industrie).
- ✓ Le tissu de Jute utilisé dans notre étude se présente se forme de sacs d'emballage. Il est récupéré à partir de sacs (Figure. III. 1) destinés à l'emballage de produits alimentaires tels que café, cumin,...ect. C'est des sacs que nous avons récupéré sur le marché



Fig. III. 1. Sacs de Jute

### III. 3. Caractéristiques principales pour chaque matériau utilisé

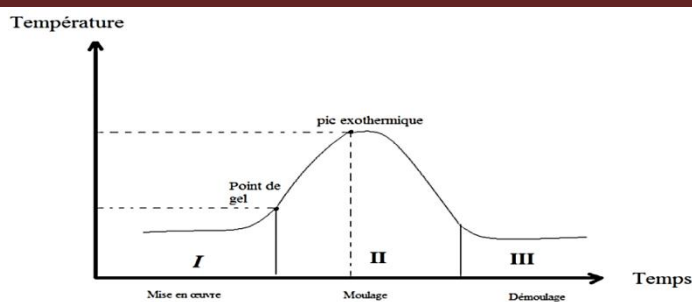
#### III.3.1. Résine polyester

C'est une résine thermodurcissable la plus utilisée et la moins chère. Les résines polyester présentent de bonnes propriétés mécaniques surtout en termes de rigidité (module d'Young). [21]

#### III.3.2. Caractéristiques des résines polyester

La résine polyester polymérise par adjonction de catalyseur (Fig.III.2), dans les proportions suivantes, le pourcentage est adapté en fonction des besoins [21] :

- ✓ 0,8% minimum (temps de travail moyen).
- ✓ 2% maximum (temps de travail court).



**Fig.III.2.** cycle de polymérisation de polyester. [21]

Les caractéristiques de la résine polyester sont indiquées dans le tableau suivant :

Les caractéristiques	
Densité (g/cm <sup>3</sup> )	1.2
Module d'Young (GPa)	2.8 – 3.5
Résistance à la traction (GPa)	0.05 – 0.08
La température de Polymérisation (C°)	60 - 100

**Tableau.III.1.** Différentes caractéristiques de la résine polyester. [21]

### III. 3. 4. Le jute

La fibre de jute est obtenue à partir de deux plantes herbacées, *Corchorus blanchi* (Jute blanc) originaire d'Asie et du *Corchorus olitorius* (jute Tossa) originaires d'Afrique. Après le coton, le jute est la deuxième fibre naturelle la plus couramment cultivée dans le monde et largement cultivé au Bangladesh, Chine, Inde, Indonésie, Brésil.

Le jute est pluricellulaire dans sa structure (figure III. 3). La paroi cellulaire d'une fibre se compose d'un certain nombre de couches : la paroi dite primaire (la première couche déposée au cours du développement cellulaire) et la paroi secondaire (S), qui est à nouveau constitué de trois couches (S1, S2 et S3). Comme dans tous les fibres ligno-cellulosiques, ces couches contiennent principalement de la cellulose, de l'hémicellulose et de la lignine en quantités variables. Les fibres individuelles sont collées ensemble par une région riche en lignine, connue comme la lamelle moyenne. La cellulose atteint sa plus forte concentration dans la couche S2 (environ 50 %) et la lignine est plus concentrée dans la lamelle moyenne (environ 90 %) qui, en principe, est pauvre de cellulose. La couche S2 est habituellement de loin la couche la plus épaisse et domine les propriétés des fibres.

La cellulose, un composant primaire de la fibre, est un polymère de condensation linéaire composé d'unités D-anhydro-glucopyranose réunies par  $\beta$ -1, 4-glucosidiques liaisons [24]. Les longues chaînes de cellulose sont reliées entre elles en plusieurs paquets appelés micro-fibrilles.

Les hémicelluloses sont également présentes dans toutes les fibres végétales. Les hémicelluloses sont des polysaccharides collés ensemble dans des chaînes de branchement relativement courtes. Ils sont intimement liés à la cellulose microfibrille, intégrant la cellulose dans une matrice. Les hémicelluloses sont très hydrophiles et elles ont de faibles masses moléculaires comparées à celles de la cellulose et la lignine. Le degré de polymérisation (DP) est environ 50-200. Les deux principaux types d'hémicelluloses sont xylane et glucomannane.

La lignine est un polyphénol aléatoirement ramifié, composée d'unités de propane phényle (C9). Elle est le plus complexe polymère naturel ayant une haute masse moléculaire avec une structure amorphe. Parmi les trois principaux constituants des fibres, la lignine est considérée être ayant la moindre affinité avec l'eau. Une autre caractéristique importante de la lignine est qu'elle est un matériau thermoplastique (i.e. à des températures autour de 90°C, elle commence à se ramollir et à des températures autour de 170°C, elle commence à couler).

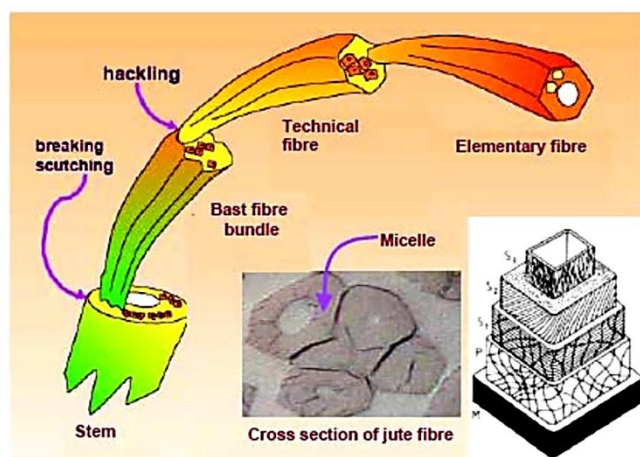


Fig. III. 3. Structure de fibre de jute [25]

Constituants	Taux massique %
Cellulose	61 - 71,5
Hémicellulose	13,6 - 20,40
Lignine	12 - 13
Pectine	0,2
Humidité	12.6
Cire	0.5

Tableau. III. 2. Composition chimique de la fibre de jute [25]

### III.3.5. Fibres de Jute

La fibre de jute possède modérément de hautes résistance et rigidité spécifiques. Par conséquent, elle convient comme renfort dans une matrice de résine polymère. Toutefois, elle présente des variations considérables de diamètre avec la longueur des filaments individuels.

Les propriétés de la fibre dépendront de facteurs tels que les méthodes de taille, la

maturité et le traitement adopté pour l'extraction de la fibre. Les propriétés telles que la densité, la résistivité électrique, la résistance à la traction et le module initial sont liées à la structure interne et la composition chimique de la fibre [25].

Le Tableau III. 3 représente les résistances à la traction et déformation totale des tissus, fils et fibres de sacs de jute

Matériau	Contrainte (MPa)	Déformation (%)
Nouveau tissu	$14.20 \pm 2.94$	6.0
Tissu usagé et mis au rebut	$4.58 \pm 2.14$	3.8
Nouveau sujet	$65.73 \pm 9.98$	12.3
Fil utilisé et mis au rebut	$61.90 \pm 8.65$	7.2
Nouvelle fibre	$378.42 \pm 99.03$	7.8
Fibre utilisée et jetée	$442.10 \pm 123.79$	6.5

**Tableau. III. 3.** Résultat de traction pour quelque type de jute [26]

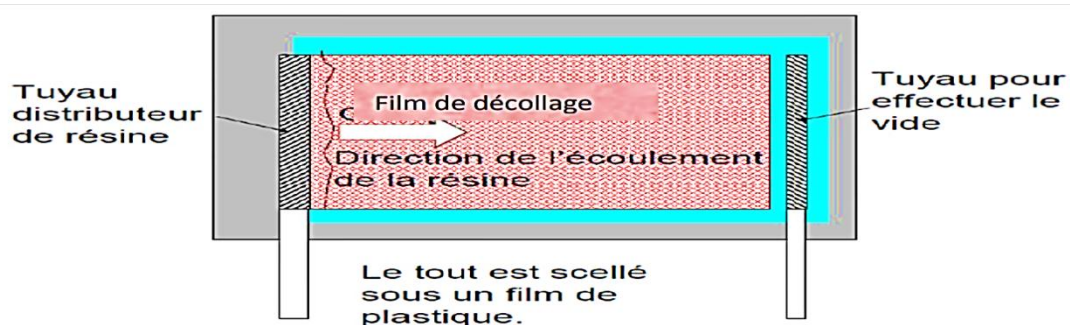
### III. 4. Mise en œuvre du bio-composite

#### III. 4. 1. Technique de moulage utilisé

Dans ce travail, on a choisi la technique de moulage sous vide, le principe de ce procédé est de réaliser une plaque de composite avec une résine thermodurcissable sous vide à la température ambiante.

Les avantages de cette technique sont :

- Éliminer les bulles d'air ;
- Augmenter le taux des tissus de jute ;
- Obtenir un état de surface très lisse.



**Fig.III. 4.** Mécanisme de moulage sous vide [27]

#### III.4.2. Elaboration des composites :

La mise en œuvre du matériau est effectuée au sein du laboratoire du moulage au hall technologique (université de M'sila), en utilisant le procédé de moulage par compression à chaud.

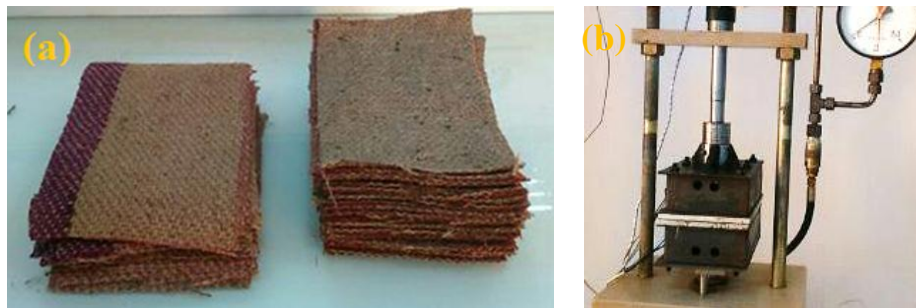
Pour cela, nous avons suivi les étapes suivantes :

**1. Préparation du renfort :**

Nous avons découpé les différents sacs de jute manuellement avec un ciseau selon les dimensions du moule (180 x 250mm<sup>2</sup>)(Figure III.5.a).

Afin d’assurer une orientation planaire des fibres, les tissus sont pressés un pressage à chaud à l’aide d’une presse à chaud (Figure III.5.b).La température est de l’ordre de 120°C, la pression utilisée est 12 bar pendant 10 minutes. Ces opérations confèrent une certaine isotropie et permettent de diminuer l’épaisseur des plis ainsi du matériau composite élaboré.




Ensuite le renfort est étuvé pendant 20min à 100°C, afin de dégager l’humidité hygroscopique. Cette dernière est néfaste car la matrice utilisée est hydrophobe.



**Fig. III. 5.** Préparation du renfort

a) Jute      b) Presse à chaud

Nous avons utilisé différentes textures du tissu de jute. Nous avons utilisé des sacs de Jute sous forme de trois types de tissage (tableau III. 4).

Désignation	Tissu A	Tissu B	Tissu C
<b>Tissu</b>			
	<b>Satin</b>	<b>Sergé 2X2</b>	<b>Taffetas</b>
<b>Nombre de file de trame par 10 cm</b>	<b>34</b>	<b>26</b>	<b>37</b>
<b>Nombre de file de channe en 10 cm</b>	<b>74</b>	<b>54</b>	<b>37</b>
<b>La masse surfacique (g/m<sup>2</sup>)</b>	<b>550</b>	<b>500</b>	<b>350</b>

**Tableau.III. 4.** Caractéristiques des tissus de Jute utilisés

### 2. Préparation de la résine

Dans notre travail on a utilisé la résine polyester avec 1% de durcisseur.



**Fig.III.6.** Préparation de la résine.

### 3. L'élaboration sous vide :

Cette technique est limitée par la viscosité de la résine et le début de réticulation (temps de gel). Ainsi que par la forme et la perméabilité du renfort. Le mécanisme du sous vide consiste à remplacer progressivement le vide par la résine, c'est pour cela que l'ensemble doit être scellé sous un film du plastique (Fig.III.7).

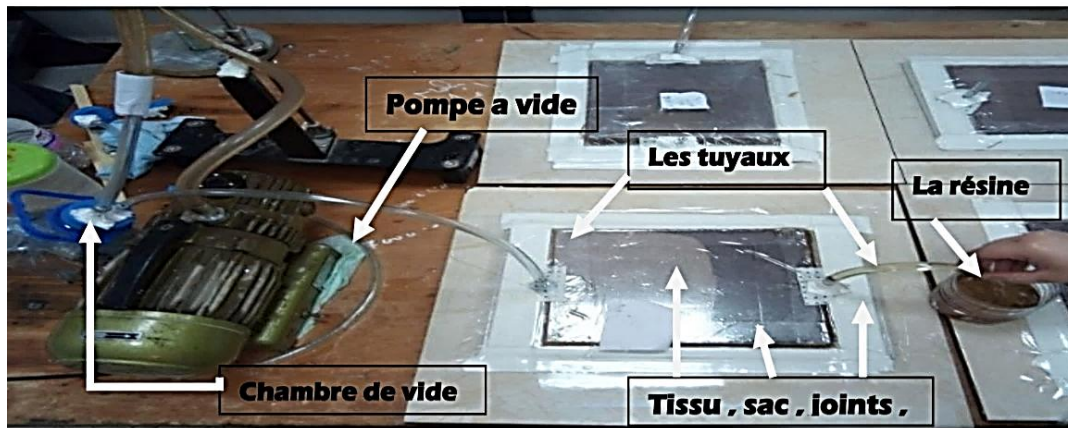
Après la préparation du renfort de jute, Nous avons découpé deux plaques de verres déposées au-dessous et au-dessus de nos 4 plis de tissus de jute. Ces plaques sont enrobées par un film en nylon. Ce dernier est imperméable et ne colle pas à la résine, il peut être considéré comme agent démoulant.

Par suite les renforts secs de 4 plis sont imprégnés par l'arrivée de la résine par les tuyaux d'injections. A la fin l'ensemble doit être scellé sous un film du plastique (sac) de mise sous vide.



**Fig. III. 7.** Le processus de passage de la résine.

Après le remplacement complet du vide par la résine, la plaque reste sous dépression pompe jusqu'à la vitrification complète de la matrice (figure III. 8) ; ensuite, elle est mise dans une étuve à 80°C pendant 6h afin d'améliorer le taux de réticulation.



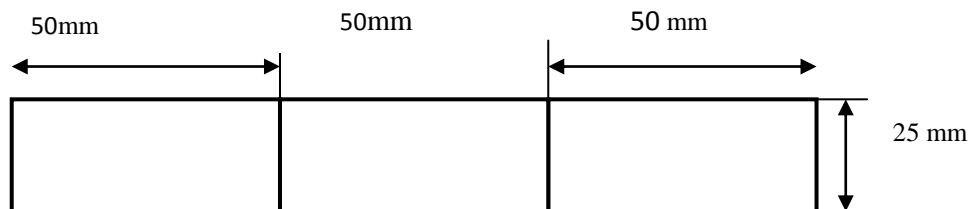
**Fig.III.8.** Dispositif du moulage sous vide.

Nous avons désigné les composites par (Bio-Com A, Bio-Com B et Bio-Com C) selon les différents tissages.

### III. 5. Caractérisation mécanique des composites Jute / Polyester

#### III.5.1. Préparation des éprouvettes

Dans cette étude, les éprouvettes mises à l'épreuve sont des éprouvettes de traction prismatique de norme (ASTMD3039) dont la longueur utile est d'un ordre de grandeur (6 fois) supérieure à la largeur (figure. III. 9). Dans le but d'éliminer le problème de l'initiation des ruptures au voisinage de la zone de transition.

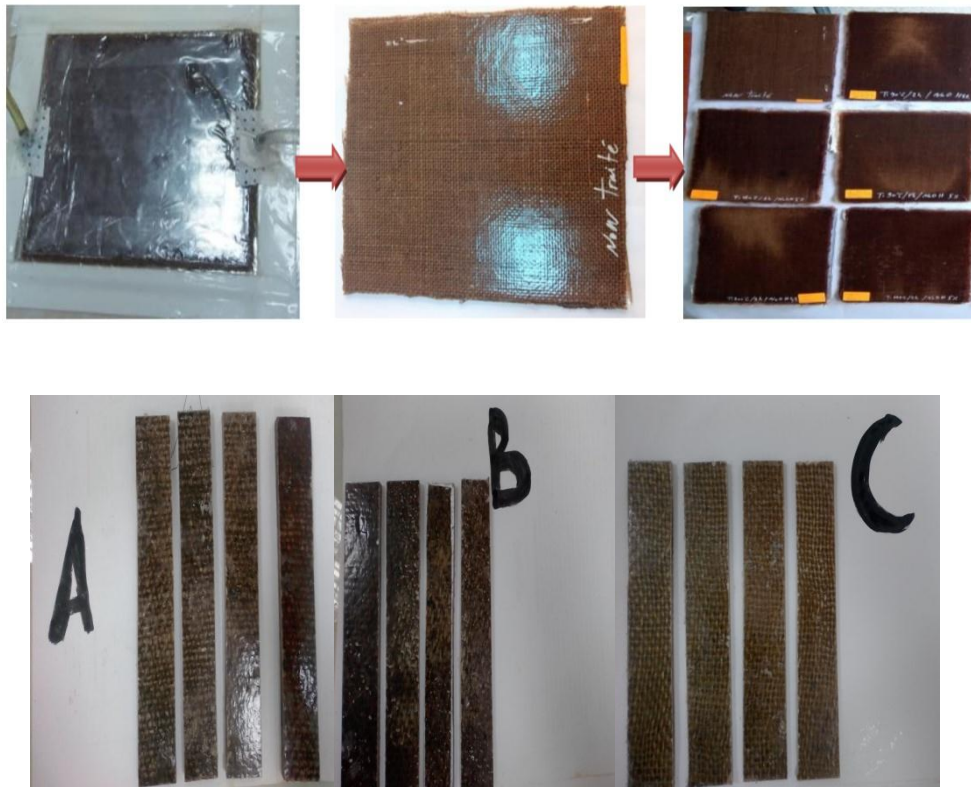


**Fig.III. 9.** Les dimensions des éprouvettes. (ASTM3039)

Une fois la résine est complètement polymérisée (Figure. III. 10), nous allons découper 4 éprouvettes de chaque plaque pour des essais traction.

Les éprouvettes sont prélevés sur chaque plaque à l'aide de marqueur (150 mm \* 25 mm \* 4.4 mm). Elles sont ensuite découpées à l'aide d'une tronçonneuse à disque.

Après le découpage des éprouvettes de nos composites, nous avons effectué un polissage afin d'avoir une bonne planéité et dimension



**Fig. III. 10.** Opération de découpage les plaque (A, B, C).

### III. 5. 2. Essai de traction

Des essais de traction sont effectués sur les différentes éprouvettes afin de caractériser les matériaux étudiés.

Les essais mécaniques menés sur les éprouvettes, sont réalisés à température ambiante sur une machine de traction /compression. Quatre échantillon sont été testés pour chaque type de composite. Les essais de traction ont été réalisés au niveau d'unité de recherche des matériaux émergents à l'université de Sétif (UFAS 1) sur une machine de traction universelle (MTS Traction formation 106) (Figure III.11).

Elle est équipée d'une cellule de charge de 5 kN et d'un système d'entraînement de la traverse à l'aide d'un moteur électrique. La machine est pilotée par un logiciel qui permet d'enregistrer les résultats des forces et déplacements sur un fichier texte sous forme d'un procès-verbal d'essais qu'on pourra exploiter par la suite sur un ordinateur. Les essais étaient menés à une vitesse de déplacement de traverse de 1 mm/min.

Le module d'Young est calculé à partir de la zone linéaire de la courbe contrainte-déformation.



**Fig.III.11:** Eprouvette soumis à la traction.

### III.6.Paramètres d'études de traction : [27]

Les caractéristiques mécaniques déterminées par l'essai de traction sont :

**La contrainte de rupture** : elle est donnée par la relation suivante

$$\sigma = F/S$$

Avec :

**F** : Force de traction (N)

**S** : Section rompue (mm<sup>2</sup>)

**$\sigma$** : Contrainte de rupture (GPa)

**Le module d'Young** : c'est le facteur de proportionnalité entre la contrainte  $\sigma$  et la déformation  $\varepsilon$

$$E = \sigma / \varepsilon = (F \times L_0) / (S \times \Delta L)$$

Avec :

**E** : Module d'Young (MPa).

**L<sub>0</sub>** : Distance entre mords (mm).

**S** : Surface ou section (mm<sup>2</sup>).

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

**$\Delta L$**  : L'allongement des éprouvettes (mm).

**III.7 Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons traité la mise en œuvre et la caractérisation d'un matériau composite à matrice polymère thermdurcissable renforcée par jute tissu unidirectionnel.

La préparation des composites nécessite tout d'abord la préparation des plis de renfort en tissus. La procédure de préparation des plis nécessite un soin particulier afin d'avoir des plis plus ou moins uniformes.

Les différentes plaques du composite (jute/polyester) sont élaborées par la technique sous vide.

Enfin, une description de la technique expérimentale et des normes utilisées pour les essais mécaniques ont été aussi décrites dans ce chapitre.



**CHPITRE IV :**

***Résultats et discussions***

## IV. 1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter une synthèse des essais mécaniques réalisés sur le bio-composites élaborées Jute/Polyester. Nous débuterons par présenter les courbes contraintes-déformation ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) des éprouvettes lisses sollicitées. Une étude comparative entre les différents tissus de jute utilisés est ainsi présentée pour voir l'effet de la structure de tissage sur l'endommagement des biomatériaux (caractéristiques mécaniques).

## IV. 2. Analyse des courbes contrainte-déformation de bio composite

Dans ce qui suit, les résultats des tests mécaniques, obtenus à la suite d'essai de traction des bio-composites, sont illustrés et discutés.

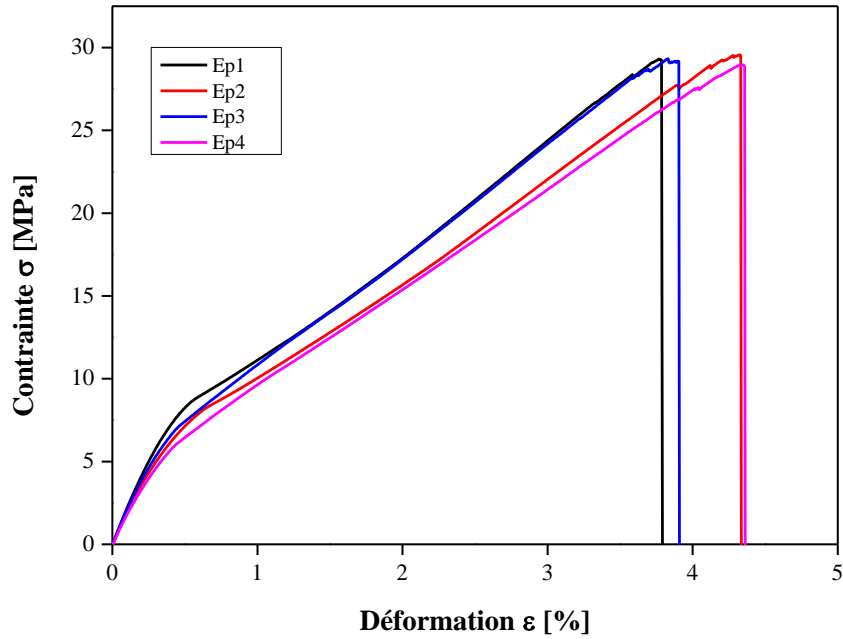
La figure IV. 1 représente une éprouvette du composite Jute/Polyester durant l'essai de traction après rupture.



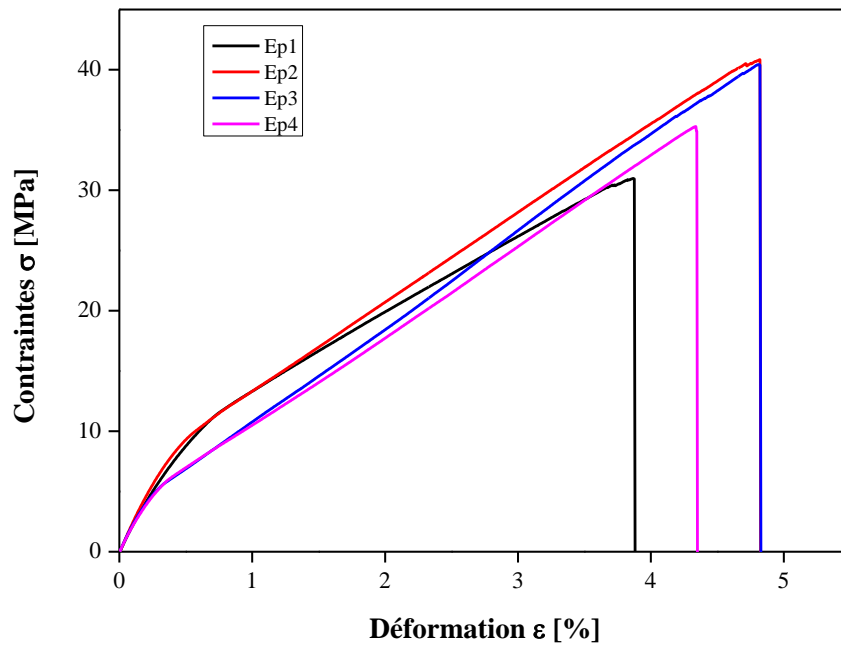
**Fig. IV. 1.** Rupture du composite Jute/Polyester durant l'essai de traction.

L'importance des composites à matrice polymère renforcée de fibres naturelles provient de l'amélioration substantielle de la résistance et du module, qui offre une possibilité d'utilisation de ces composites dans des applications pratiques. Il est bien connu que la résistance à la traction des composites renforcés de jute dépend de la force des deux les constituants et l'adhérence entre le renfort et la matrice. Cette partie vise à déterminer les performances mécaniques des composites avec différents tissages comme renfort (**Tissu A**, **Tissu B**, **Tissu C**). La résistance à la traction d'un matériau composite est plus sensible aux propriétés inter-faciales fibre-matrice, alors que le module dépend des propriétés de la fibre.

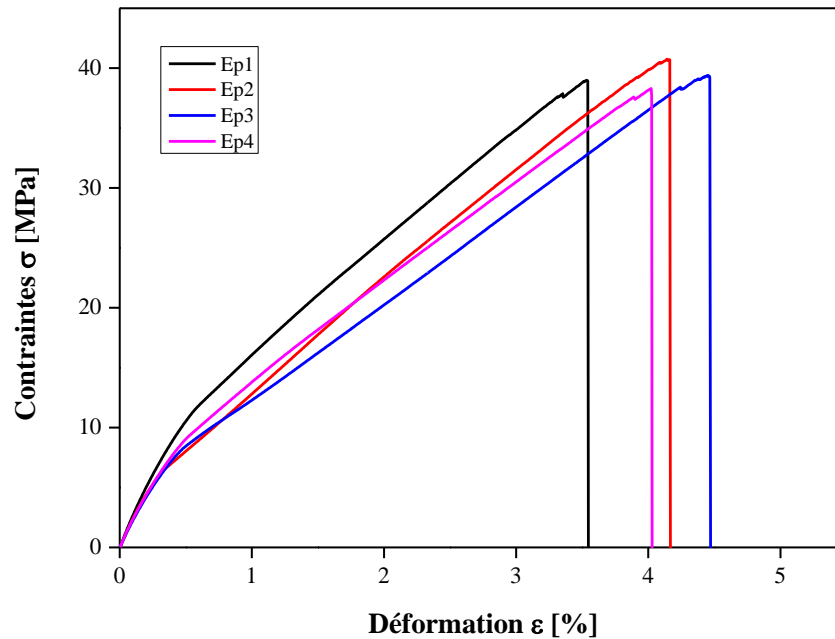
Les résultats des tests statiques des différents matériaux testés sont représentés par les figures suivantes. Ces Figures illustrent les évolutions typiques de la contrainte en fonction de la déformation des éprouvettes de bio-composite Polyester/Jute sollicitées en traction statique avec différents tissages comme renfort.



**Fig. IV.2.** Evolutions de la contrainte en fonction de déformation ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) des éprouvettes du **bio-composite (A)**.



**Fig. IV. 3.** Evolutions de la contrainte en fonction de déformation ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) des éprouvettes du **bio-composite (B)**.



**Fig. IV. 4.** Evolutions de la contrainte en fonction de déformation ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) des éprouvettes du **bio-composite (C)**.

D'après les figures IV. 2, IV. 3 et V. 4, qui représentent l'évolution de la contrainte en fonction de la déformation pour les trois matériaux composites (bio-composite A, bio-composite B et Bio-composite C) successivement. La première remarque qu'on puisse faire est que les trois matériaux ont le même comportement.

Les courbes contraintes-déformation font apparaître d'abord un comportement linéaire des composites, correspondant à la partie élastique et permettant la détermination des propriétés élastiques des matériaux. Puis un comportement non-linéaire jusqu'à une contrainte maximale, cette phase est caractérisée par l'initiation de l'endommagement par développement de microfissures au sein du matériau. La contrainte croît en suite progressivement, lorsque la déformation augmente, jusqu'au moment où une chute assez rapide de la charge se produit. Cette phase correspond à la propagation rapide des fissures conduisant à la rupture totale des éprouvettes.

La dispersion constatée des résultats pour chaque matériau est dû au caractère hétérogène des matériaux composites.

En général, les propriétés mécaniques des tissus de renfort sont régies par: l'architecture du tissage du fil, l'espacement et longueur des fils, l'angle d'orientation des fibres et la fraction volumique des fibres [23].



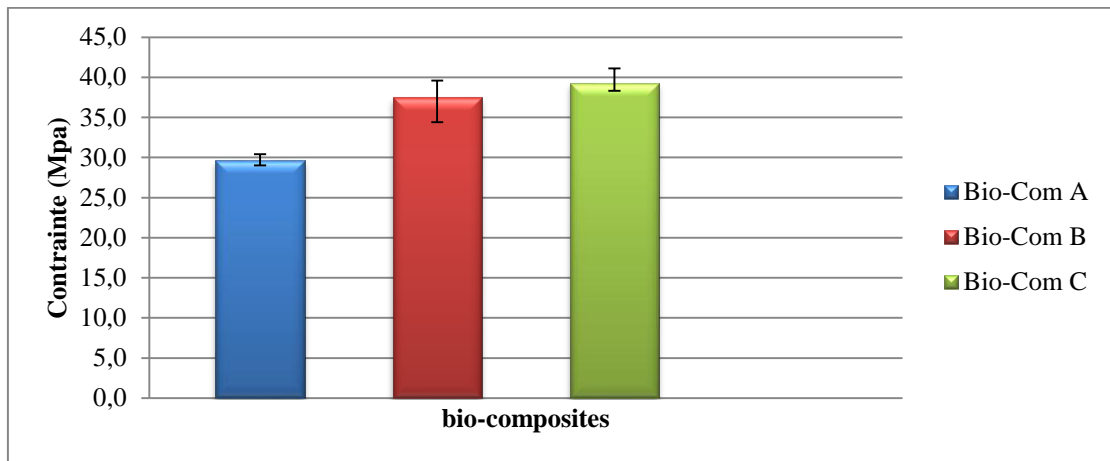
Fig. IV. 5 Rupture des bio-composites

### IV.3.Paramètres de rupture en traction

- **Contrainte à la rupture** : L'historgramme de la (Figure IV.6) représente les valeurs de la contrainte à la rupture des différents bio-composites obtenues. On observe qu'il n'y a pas une grande différence entre les matériaux B et C comparé au matériaux A.

Le matériau bio-com C présente une résistance à la rupture la plus élevée soit 39.3MPa.

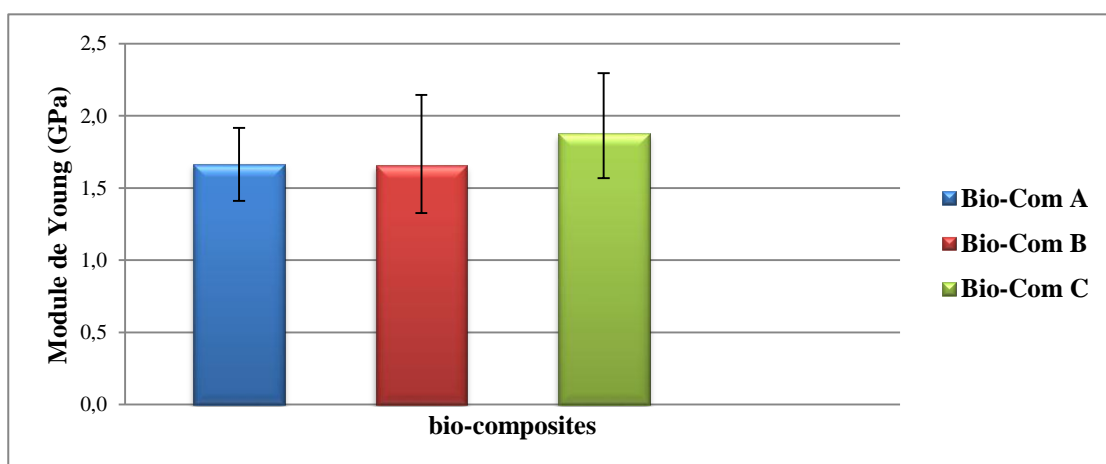
Cette différence peut se traduire par la morphologie structurale du tissu **Sergé (Bio-Com C)**.DonclastructureSergé1x1estconseilléequandlarésistanceàla traction est la principale préoccupation.



**Figure. IV.6 :** Histogrammes de l'évolution des contraintes des bio-composites.

- **Module de Young :** En outre, le module de traction de bio-composites à Sergé 1x1 (**Bio-Com C**), avait la valeur la plus élevée, que ceux des deux bio-composites. Ce matériau montre une bonne rigidité comparé aux deux autres matériaux.

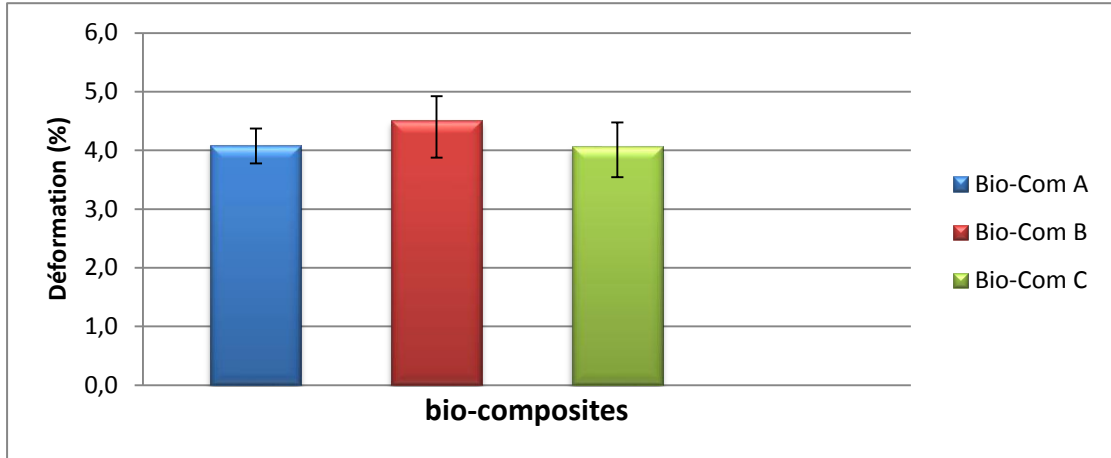
L'histogramme de la (**Figure.IV.7**) représente les valeurs de module d'Young des différents matériaux bio-composites obtenues à partir des tests de différents tissage. La structure de tissu Sergé 2X2a permis une différence de niveau de module d'un ordre de 23% par rapport au matériau (**Bio-Com A**), et de 26% par rapport au matériau (**Bio-Com B**) Il est à signaler que la nature de tissage du matériau (**Bio-Com C**) a permis l'enregistrement de tel module de rigidité. Cela pourrait être attribué à la meilleure dispersion des tissus de Sergé 1x1 dans le matrice Polyester.



**Figure. IV.7:** Histogrammes de l'évolution des modules de Young des bio-composites.

- **Déformations à la rupture :** D'autre part, les déformations à la rupture de bio-composites sont présentées par l'histogramme de la (**Figure.IV.8**). De cette figure, nous déduisons que l'allongement à la rupture du composite ayant la structure tissu Taffetas (cas du matériau **Bio-**

**Com B**) est plus élevé que ceux des autres bio-composites(plus de 4.50%).Ainsi, il pourrait être dit que cette structure (**Bio-Com B**) était avantageuse pour l'amélioration de l'allongement à la rupture. De plus, Alors que les deux matériaux ont des déformations assez inférieures.



**Figure. IV.8.** Histogrammes de l'évolution des déformations des bio-composites.

**Le Tableau IV.** Représenté les résultats de test en traction obtenues après l'examen des trois bio-composites de différents tissages.

composite	E(GPa)	Cont(MPa)	Déf Max(%)
<b>Bio-Com A</b>	1.667	29.575	4.085
<b>Bio-Com B</b>	1.656	37.475	4.507
<b>Bio-Com C</b>	1.877	39.3	4.065

La figure IV. 9 présente les faciès de rupture des différents composites jute/polyester :



**Fig. IV. 9.** faciès de rupture des composites jute/polyester

## Conclusion Générale

Notre travail a fait l'objet de l'élaboration et la caractérisation d'un matériau composite bidirectionnel à renforts végétales (jute-polyester). Cela est fait au sein du laboratoire de moulage à l'université de Msila.

Notre principal objectif était d'exploiter des matériaux recyclés pour l'élaboration d'un nouveau matériau composite. Le renfort utilisé dans notre travail est les déchets de Jute récupérés à partir des sacs d'emballage.

Les résultats des tests en traction statique sur les différents bio-composites Jute / Polyester élaborés montrent l'effet du tissage des renfort (Tissu A, Tissu B, Tissu C) sur les paramètres de rupture de ses matériaux. Le matériau **Bio-Com C** a enregistré les bonnes performances soit du côté résistance ou bien de rigidité.

Donc la structure Sergé 1x1 est conseillée quand la résistance à la traction est la principale préoccupation.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- [1] : J. Weiss et C. Bord (1983). Les Matériaux Composites (tomes 1 et 2). Editions de l'Usine, Paris.
- [2] : M. Geier et D. Duedal (1985). Guide pratique des matériaux composites. Technique et Documentation, Paris.
- [3] : R.G. Weatherhead (1980). FRP Technology. Fibre Reinforced Resin Systems. Applied Science Publishers, Londres.
- [4] : A. Bouarissa, Comportement mécanique d'un matériau fibre jute/époxy : Elaboration et caractérisation, mémoire de master, université de Boumerdes. 2013.
- [5] : M. Sellik, Influence des différents séquences d'empilement sur le comportement mécanique en traction d'un stratifier jute/époxy, mémoire de master, université de Boumerdes. 2013.
- [6]:Jean-MarieBerthelot,« Mécaniquedesmatériauxetstructurecomposites». InstitutSupérieur des MatériauxetMécaniques Avancés, leMans,France.
- [7] A. Y. Nenonene, ''Elaboration et caractérisation mécanique de panneaux de particules de tige de kénaf et de bioadhésifs à base de colle d'os, de tannin ou de mucilage'', thèse de doctorat de l'université de Toulouse, Institut National Polytechnique de Toulouse, Sciences des Agro ressources, 2009.
- [8] F.Laurans, A.Déjardin, J.Pilate, ''Physiologie de la formation des parois de fibres de bois'', composites et matériaux avancés, Vol.16, pp.27-39,2006.
- [9] N.Anil ''composite getgreener'', Materialtoday, Vol 45, pp12, 2001.
- [10] E. BODROS, C. BALEY, '' Etude des propriétés de biopolymer renforcés par des fibres de lin aléatoirement dispersées dans le plan de stratification'', propriété aux interfaces et composites, Université de Bretagne-Sud, 2006
- [11]F.Gouanvé, S.Marais, M. Métayer, ' composites polyester insaturé renforcés par des fibres de lin'', composites et matériaux avancées, Vol.16, pp.117.128 ,2006

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

[12] Vi Vi Do Thi, « Matériaux composites à fibres naturelles / polymère biodégradables ou non », Université de Grenoble, on 15 Déc. 2011

[13] Sandali Abdeljalil et RabhiNabil , «Comportement au choc des stratifiées composites renforcées par des fibres naturelles(fibre de cactus) », UNIVERSITE KASDI MARBAH OUARGLA, Le : 26/06/2013.

[14] omiriimenYamina, « l'effet du traitement des fibres naturelles sur l'endommagement d'un béton polymère », mémoire master, unuversitie du m'sila,2014/2015.

[15] Yahiaoui Lamia, « caractérisation d'un composite à la rupture à base des fibres végétales DISS», option mécanique applique, université de Sétif, 2011.

[16] MostarAbdessamed, « influence des ajouts de fins minérales sur les performances mécaniques des bétons renforcé de fibre végétales de palmier dattier », université de KasdiMerbah Ouargla option génie civil, novembre 2006.

[17] Mohamed Dallel, « Evaluation du potentiel textile des fibres d'Alfa (StipaTenacissima L.) : caractérisation physico-chimique de la fibre au fil » ; Université de Haute Alsace - Mulhouse, 12 Jul 2013.

[18] CARMA, « Glossaire des matériaux composites renforcés des fibres d'origine renouvelable », centre d'animation régional en matériaux avancés, Décembre 2006.

[19] Mustapha Malha, « Mise en œuvre, caractérisation et modélisation de matériaux composites : polymère thermoplastique renforcé par des fibres de Doum », Université Mohammed V –AGDAL, Mars 2013.

[20] 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.

[21] R.P.C. Decathlon. Les matériaux composites dans l'industrie des sports et loisirs. Congrès

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

RFIS, 2005.

[22] <http://www.ac-nice.fr/>

[23] Debiprasad G,\*, Kousik D, Palash P , Subhankar M « Jute Composites as Wood Substitute »International Journal of Textile Science 2012, 1(6): 84-93

[24] C. Pomel, C. Baley et B. Lamy, «Influence de prétraitements et traitements chimiques sur l'adhérence fibre de lin / résine thermodurcissable polyester. », XVème Congrès Français de Mécanique Nancy, 2001,

[25] D. El Hadji Babacar LY, « Nouveaux matériaux composites thermoformables à base de fibres de cellulose », Thèse de Doctorat, L'INP de Grenoble, France, 2008, 218 p. [En ligne], disponible sur

[26] A. Stocchi, B. Lauke, A. Vázquez et C. Bernal. « A Novel Fiber Treatment Applied to Woven Jute Fabric/Vinylester Laminates. ». Composites Part A: Applied Science Manufacturing., Vol.

38, 2007, pp 1337-1343.

[27] Nicolas Tessier- Doyen, « Etude expérimentale et numérique du comportement thermomécanique de matériaux réfractaires modèles », L'université de limoges, 2003.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## Résumé

**Résumé :** Le but essentiel de notre travail est de participer à généraliser l'éco-conception des matériaux bio-composites. Pour cela nous avons opté à l'utilisation de tissu de fibres végétales récupérées à partir de sacs d'emballage de jute et/ou fabriquées à partir des fibres végétales locales. Nous l'avons utilisé comme renfort pour les matrices polysters. Les tests sur bio-composites ont montré que le **Bio-Com C** a enregistré les bonnes performances soit du côté résistance ou bien du côté rigidité; d'où la fraction massique de taux de fibres qui est le taux optimal qu'on a adoptée lors de l'élaboration de nos bio-composites. De plus, le tissage Sergé 1X1 permet l'obtention de bonne performance mécanique du coté résistante ou rigidité comparée aux deux autres types de tissage.

**ملخص:** الهدف الرئيسي من عملنا هو المشاركة في تعميم التصميم البيئي للمواد المركبة الحيوية. لهذا اخترنا استخدام نسيج الألياف النباتية المستردة من أكياس تغليف الجوت و / أو المصنوعة من ألياف نباتية محلية. استخدمناها كتعزيز للبوليستر. أظهرت الاختبارات الحيوية المركبة أن أداء Bio-Com C جيد على جانب القوة أو الجانب الصلابة؛ ومن هنا كان الجزء الشامل من محتوى الألياف وهو المعدل الأمثل الذي اعتمدناه خلال تطوير المركبات الحيوية لدينا. بالإضافة إلى ذلك، يسمح نسيج 1X1 قطني طويل بالحصول على أداء ميكانيكي جيد على الجانب المقاوم أو الصلابة مقارنة بالتنوعين الآخرين من النسيج.

**Summary:** The main goal of our work is to participate in generalizing the eco-design of bio-composite materials. For this we opted for the use of vegetable fiber fabric recovered from jute packaging bags and / or made from local plant fibers. We used it as a reinforcement for polysters. Bio-composite tests showed that the Bio-Com C performed well on either the strength side or the stiffness side; hence the mass fraction of fiber content which is the optimal rate that we adopted during the development of our bio-composites. In addition, the twill 1X1 weave allows obtaining good mechanical performance on the resistant side or rigidity compared to the other two types of weaving.