



Département de Génie Mécanique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

MASTER

En Génie Mécanique

Option : Génie des Matériaux

Présenté par :

MEKIDECHE Salih

Thème

VALORISATION DES DECHETS COMME CONSTITUANTS DES BIO-COMPOSITES

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Qualité
RAHMOUNI Z. E. A	Professeur	Président
ROKBI M	MCA	Encadreur
BELHOUCHE H	Professeur	Examineur
ZEGGANE H	MCA	Examineur
BENHAMADOUCHE L	MAA	Invité

Année Universitaire : 2017 / 2018

N° d'ordre : GM/...../2018

Remerciements

Ce travail a été réalisé au laboratoire du moulage au département de Génie Mécanique de l'université de M'sila.

Je remercie bien Allah le tout puissant de m'avoir accordé le courage et la patience pour accomplir ce modeste travail.

*Tout d'abord, mes sincères remerciements sont adressés à mon promoteur Dr. **ROKBI Mansour**. Je tiens à lui exprimer ma profonde gratitude pour avoir encadré ce mémoire. J'ai beaucoup apprécié son soutien et sa rigueur scientifique tout au long de ce travail.*

*Je remercie messieurs les professeurs **RAHMOUNI.Z, BELHAOUCHET.H**, et Monsieur **ZEGGANE. H**, qui m'ont fait l'honneur de juger mon travail.*

*Je suis très reconnaissante à mon enseignante M^{me} **BENHAMADOUCHE**. pour accepter l'invitation et pour toute l'assistance et les conseils fournis au cours de tout le parcours d'études universitaires, merci*

*Je remercie vivement Mr. **KHALDOUNE Abderraouf** chef de laboratoires de moulage et commande numérique, pour ses conseils et son assistance ainsi que toute l'équipe du hall technologique.*

*Je tiens également à remercier Mr **OSMANI. H**, Professeur à l'institut d'optique et mécanique de précision ainsi que tous les ingénieurs et techniciens du laboratoire des matériaux non métalliques (LMNM) et de l'unité de recherche Matériaux Emergents(URMES) (Université Ferhat Abbas).*

*Je n'oublierai pas d'associer dans mes remerciements mes collègues, les plus chers, et en particulier **Djelmid Widad** pour leur aide.*

*Je remercie chaleureusement tous les membres de ma famille et surtout mes très chers parents : "**Massoud**" et "**Daouia**" qui n'ont cessé de croire à ce travail et m'ont été d'un grand support dans tous les moments difficiles.*

Enfin, je voudrais remercier tous ceux qui ont contribué à ce travail.

Salih

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE	1
-----------------------------	---

Chapitre I

Généralités sur les composites

I.1. INTRODUCTION	4
I.2. NOTIONS DE BASE	4
I. 2. 1. Définition :	4
I.2.2. Bio composite	5
I.3. DIFFERENTS TYPES DE COMPOSITES.....	6
I.4. Constitution des matériaux composite	6
I. 4.1. La matrice	6
I.4.2. Renfort	10
I.5. PROCÉDES DE MISE EN ŒUVRE DES COMPOSITES	12
I.5.1. Moulage par compression.....	14
I.5.1. 1. Moulage par injection de résine.....	14
I.5.1. 2. Moulage par compression à froid	14
I.5.1. 3. Moulage par compression à chaud.....	15
I.5. 2. Moulages sans pression	16
I.5.2. 1. Moulage au contact	16
I.5.2.2. Moulage par projection simultanée.....	17
I.5. 3. Moulage sous vide.....	17
I.6. AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES COMPOSITES	18

Chapitre II

Généralités sur les fibres végétales

II. 1. INTRODUCTION.....	20
II. 2. LES FIBRES NATURELLES	20
II. 3. LES FIBRES VÉTÉTALES	22
II.3.1. Définition.....	22
II.3.2. Classification des Fibres Végétales.....	22
1. Les fibres de feuilles	22
2. Les fibres de bois	24
3. Les fibres de surface	24

II.3.2. 4. Les fibres de tiges	25
II. 4. METHODES D'EXTRACTION DES FIBRES VEGETALES	27
II. 4. 1. Rouissage biologique	28
II. 4. 2. Rouissage chimique.....	28
II. 4. 3. Rouissage mécanique	28
II. 5. CARACTERISTIQUES DES FIBRES VEGETALES	29
II.5.1. Composition chimique de la fibre végétale	29
II.5.2. Propriétés mécaniques des fibres végétales.....	30
II. 6. Facteurs influençant SUR les composites à renfort naturel	31
II. 6. 1 Dispersion des fibres	31
II. 6. 2. Orientation des fibres	31
II. 6. 3. Stabilité thermique des fibres naturelles.....	32
II. 6. 4. Longueur critique	32
II. 6.5. Interface fibre/matrice	32
II. 7. MODIFICATION DE LA FIBRE ET DE LA MATRICE.....	33
II. 7. 1. Les traitements physiques.....	33
a. Traitement plasma	33
b. Traitement corona	33
c. Le traitement thermique de séchage.....	33
II. 7. 2. Traitements chimiques	34
a. Traitement des fibres	34
b. Agent de couplage.....	34
II. 8. AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES FIBRES VEGETALES	35
II. 9. CONCLUSION	35

Chapitre III

Recyclage des déchets

III.1. Introduction.....	37
III.2. Définition du recyclage	37
III.3. Recyclage des matériaux plastiques	38
III.3.1. Les matières plastiques	39
III.3. 2. Transformations	39
III.4. Polypropylène	41
III.4.1. Historique :	41
III.4.2. Présentation du polypropylène	41
III.4.3. Propriétés du polypropylène :.....	42

III.4.4. Recyclage du PP	43
III.5. LE JUTE	43
III. 5.1. Fibres de Jute	43
III. 5. 2. Structure et composition chimique du jute.....	43
III. 5.3. Caractéristiques mécaniques	45
III. 5. 4. Utilisation du jute.....	46
III. 5. 5. Perspectives d'avenir	46

Chapitre IV

Méthodes & Techniques expérimentales

IV.1. Introduction	49
IV.2. Matériaux UTILISE	49
IV.2.1. Matrice de polypropylène	50
IV.2.2. Fibres de Jute.....	51
IV.3. ÉTUDE STRUCTURALE DE LA FIBRE VEGETALE JUTE	51
IV. 3. 1. Analyse spectroscopique par infrarouge a transformé de Fourier :.....	51
IV.3.2. Analyse thermogravimétrique (ATG).....	53
IV.4. Elaboration du composite jute/PP	54
IV.5. METHODES DE CARACTERISATIONS du composite.....	58

Chapitre V

Résultats & discussions

V. 1.INTRODUCTION.....	64
V. 2.ANALYSE STRUCTURALE ATR - FTIR.....	64
V. 3.L'ANALYSE THERMOGRAVIMETRIQUE (ATG), (DTG).....	66
V. 4. CARACTERISATIONS MECANIQUES.....	67
V. 4.1. Détermination du meilleur taux de fibre de Jute	67
V. 4.2. Comparaison des bio-composites à renfort de différents tissages	70
V. 4.2. 1. Propriétés mécaniques en traction	70
V.4.2.2. Paramètres de rupture en traction.....	71
V. 4.2.3. Propriétés mécaniques en flexion.....	74
V.4.2.4. Paramètres de rupture en flexion.....	75
Conclusion.....	78
Références Bibliographiques.....	79

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1. Type de composite.....	6
Tableau I.2. Différentes caractéristiques des résines thermoplastiques et thermodurcissables.....	9
Tableau I.3. Principales caractéristiques des techniques de fabrication	13

Chapitre II

Tableau II. 1 : Paramètres structuraux des fibres végétales différentes.....	29
Tableau II. 2. les propriétés usuelles des fibres végétales.....	30
Tableau II.3. Principaux avantages et inconvénients des fibres végétales comme renforts dans les matrices polymères.....	35

Chapitre III

Tableau.III.1. Les principales résines et leurs utilisations les plus courantes.....	40
Tableau. III.2. Propriétés du polypropylène.....	42
Tableau. III.3. Composition chimique de la fibre de jute.....	45
Tableau. III.4. Résultat de traction pour quelque type de jute.....	46

Chapitre IV

Tableau. IV.1 : Caractéristiques du polypropylène.....	51
Tableau IV. 2. Quelques caractéristiques et Résultats de calcul w_m	56
Tableau IV. 3. Caractéristiques des tissus de Jute utilisés.....	58

Chapitre V

Tableau.V.1. Identification des pics les plus importants des spectres ATR-FTIR.....	65
Tableau V.2. Résumé des résultats obtenus en traction	70
Tableau V.3. Résumé des résultats obtenus en traction.....	74
Tableau V.4. Résumé des résultats obtenus en flexion.....	77

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1. Constituants d'un matériau composite.....	4
Figure I.2. Différentes familles de Matrice.....	7
Figure I.3. Chaîne et trame d'un tissu.....	11
Figure I.4. Les principaux types d'armures utilisées pour le tissage des tissus.....	12
Figure I.5. Différents procédés de fabrication des composites à matrices polymériques.....	13
Figure I. 6. Moulage par injection de résine.....	14
Figure I. 7. Moulage par compression à froid.....	15
Figure I. 8. Moulage par compression à chaud.....	15
Figure I. 9. Principe du moulage au contact.....	16
Figure I. 10. Principe du moulage par projection simultanée.....	17
Figure I. 11. Moulage sous vide.....	17

Chapitre II

Figure II. 1. Application des matériaux composites à base de fibres naturelles.....	21
Figure II. 2. Classification des fibres naturelles.....	21
Figure II.3. Quelques exemples de tissus de fibres végétales.....	22
Figure II. 4. Fibre d'abaca.....	23
Figure II. 5. Fibre de sisal.....	23
Figure II.6. Fibre de bambou.....	24
Figure II. 7. Fibre de coton.....	25
Figure II.8. Fibre de coco.....	25
Figure II.9. Fibre de lin.....	26
Figure II.10. Fibre de chanvre.....	26
Figure II.11. Fibre de kénaf.....	27
Figure II. 12. Fibre de jute.....	27
Figure II.13. Techniques d'extraction des fibres végétales.....	28

Chapitre III

Figure. III. 1. Schéma représentatif de la réaction de polymérisation du propylène.....	41
Figure .III. 3. Structure de fibre de jute.....	45
Figure. III. 4. Toile de jute un nouveau, mis au rebut après utilisation.....	47

Chapitre IV

Figure. IV.1. Film de plastique en polypropylène PP	50
Figure. IV. 2. Sacs de Jute.....	50
Figure.IV.3. Schéma de principe de la spectrométrie FTIR-ATR sur des échantillons fibreux.....	52
Figure. IV.4. Photo d'un appareille d'analyse ATR- FTIR.....	52
Figure. IV.5. Photo d'un appareille d'analyse ATG et DTG.....	53
Figure. IV. 6. Broyeur planétaire.....	54
Figure. IV.7. Matériaux utilisés : a) Jute b) Plastique PP.....	55
Figure. IV.8. Pressage des tissus de Jute.....	55
Figure. IV.9. l'élaboration du plaque de bio composite.....	57
Figure. IV.10. La plaque obtenue.....	57
Figure. IV.11. Las plaques de bio composite obtenues.....	58
Figure. IV.12. Éprouvette de traction.....	59
Figure. IV. 13. Éprouvette de flexion 3 pts.....	59
Figure.IV.14. Usinage d'éprouvette par CNC.....	60
Figure. IV. 15. Eprouvette élaborées a) EP traction b) EP flexion.....	60
Figure. IV.16. Machine de traction /compression Zwick- Roell De type z100.....	61
Figure. IV. 17. Fixation des éprouvettes a) Traction. b) Flexion	61

Chapitre V

Figure. V.1. Spectres ATR-FTIR des tissus de Jute utilisés	64
Figure. V.2. Courbes ATG des tissus de Jute utilisés	66
Figure. V. 3. Evolution de la contrainte en fonction de la déformation.....	68
Figure V.4. Evolution des contraintes des bio-composites.....	69
Figure. V.5. Evolution des modules de Young des bio-composites.....	69
Figure. V.6. la courbe de charge déplacement.....	71
Figure. V.7. Evolution des contraintes des bio-composites.....	72
Figure. V.8. Evolution des modules de Young des bio-composites.....	73
Figure. V.9. Evolution des déformations des bio-composites.....	73
Figure. V.10. Evolution de la contrainte en fonction de la déformation.....	74
Figure. V.11. Evolution des contraintes des bio-composites.....	75
Figure. V.12. Evolution des modules de flexion des bio-composites.....	76
Figure. V.13. Evolution des déformations des bio-composites.....	77

Introduction générale

Depuis leur avènement dans les années trente et jusqu'à nos jours, les matériaux composites ont fortement participé au développement de nos technologies. Grâce à eux, la consommation des véhicules de transport a été notablement réduite ; le nautisme s'est démocratisé, les voitures de courses sont devenues de plus en plus rapides et l'airbus A380 a pu prendre son envol.

Les matériaux composites se démarquent par leur légèreté et leur facilité de mise en œuvre. Leur résistance mécanique, physique et chimique offre un large éventail de possibilités en termes d'utilisation, de design, de géométrie et d'intégration de fonctions. S'adaptant parfaitement à toute sorte d'environnement, même les plus hostiles, ils s'intègrent totalement à notre quotidien à tel point qu'ils peuvent passer inaperçus.

L'apparition des fibres végétales dans les applications composites révolutionne peu à peu le paysage industriel, notamment dans l'automobile où le facteur environnement est une valeur forte. Les bio-composites envahissent peu à peu l'espace confort de nos véhicules à l'image de Mercedes qui équipe déjà ses Class A, M et R d'éléments en fibre naturelle comme les panneaux de porte ou les capots de roue de secours.

Outre les valeurs écologiques, l'épuisement des ressources fossiles, l'augmentation de coût et des gravissimes atteintes à la santé, la valorisation des déchets ligno-cellulosiques s'avère une nécessité absolue.

C'est dans ce sens que s'oriente notre contribution dont le thème est "**Valorisations des déchets comme constituants des bio-composites**". Notre travail consiste à utiliser des matériaux recyclés dans le but d'élaborer un nouveau matériau bio-composite dont les caractéristiques seront présentées dans ce mémoire.

Pour cela nous avons subdivisé ce mémoire comme suit :

Les trois premiers chapitres de ce manuscrit sont consacrés à une synthèse bibliographique.

Le chapitre I présente une généralité sur les structures composites. On commence par une définition de ces structures et les domaines d'applications, ensuite les constituants ainsi que les différents modes d'élaboration.

Le chapitre II expose une généralité sur les fibres végétales et leurs différents types, leurs utilisations et leurs principaux avantages.

Dans **le chapitre III**, on parle du recyclage des déchets, ces derniers constituer le bio-composite de notre étude qui jute/polypropylène les deux sous forme de déchets.

La deuxième partie de ce mémoire est dédiée à la présentation de la partie expérimentale. Elle est partagée en deux chapitres :

Le chapitre IV donne les détails sur les matériaux utilisés et les procédés d'élaboration de ces matériaux. Nous avons présenté aussi les différents analyses (ATG, FTIR) et essais (traction et flexion trois points) pour déterminer les caractéristiques de ces matériaux.

Le dernier chapitre, *chapitre V*, est composé de trois parties. Il est consacré à la présentation et la discussion des résultats. La première partie est dédiée à la caractérisation physico-chimique des renforts fibreux. La deuxième c'est la détermination de propriétés mécaniques bio-composites et l'influence de la fraction massique sur ces caractéristiques mécaniques du composite. Quant à la troisième partie, est la détermination 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.

CHAPITRE

I

*Généralités sur les
composites*

I. 1. INTRODUCTION

Les matériaux composites ont été utilisés depuis des décennies. Leurs avantages par rapport aux matériaux classiques résident dans leurs performances et leur légèreté. Ces atouts ont attiré de nombreuses industries comme l'aérospatial, l'automobile, les infrastructures, le sport...etc. Le développement des matériaux composites s'est fait de façon évolutive mais aussi révolutionnaire.

I. 2. NOTIONS DE BASE

I. 2. 1. Définition :

Un matériau composite est constitué de l'assemblage de deux ou plusieurs matériaux de natures différentes. Le but recherché dans cette association est d'aboutir à un matériau dont les performances globales sont supérieures à celles des composants pris séparément. Les composites sont généralement constitués d'une matrice et d'un renfort.

Le renfort apporte aux composites ses performances mécaniques élevées, alors que la matrice a pour rôle de transmettre au renfort les efforts mécaniques extérieurs.

L'art de l'ingénieur réside dans le fait de placer un matériau sous la bonne forme et dans le bon endroit.

Les matériaux composites sont conçus sur le principe déjà exploité dans la nature, comprennent deux composants (Figure I.1): la matrice et des renforts (fibres) [1].

Les propriétés du matériau composite ainsi obtenues dépendent :

- Des propriétés des matériaux constituants,
- De leur distribution géométrique,
- De leurs interactions, etc.

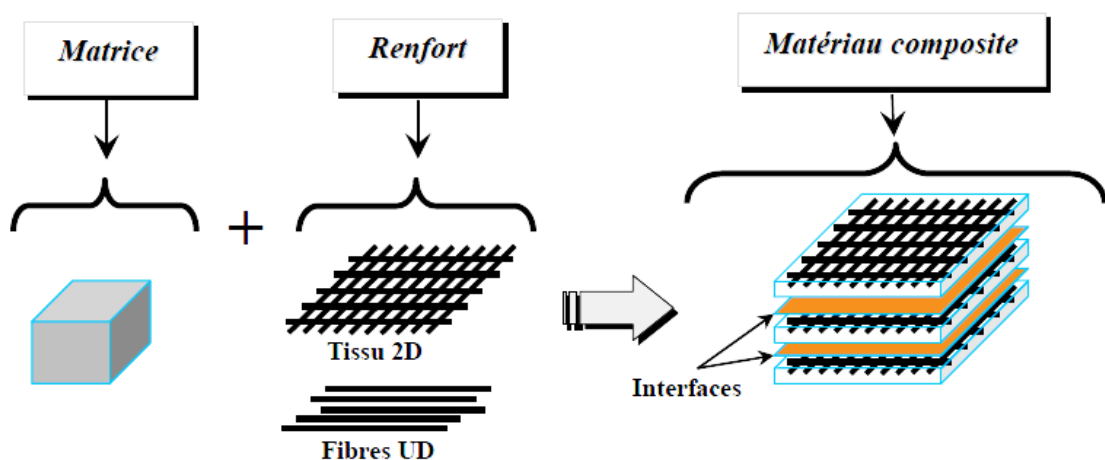


Figure I. 1. Constituants d'un matériau composite [1]

I. 2. 2. Bio composite

Depuis de nombreuses années, les composites de bio fibres ont subi une transformation remarquable. Les laboratoires et des centres techniques à travers le monde réalisent des travaux visant à incorporer des matériaux d'origine végétale aux plastiques dont l'origine est généralement fossile. Ces travaux répondent au souci de préserver l'environnement tout en limitant les prélèvements de matières non renouvelables.

Un bio composite (ou agro-composite) est un matériau composite comprenant une ou plusieurs phases d'origine biologique. En termes de renforcement, cela pourrait inclure des fibres végétales telles que le coton, le lin, le chanvre et autres, ou des fibres de bois recyclées ou de déchets de papier, ou même des sous-produits à partir de cultures vivrières. Les fibres de cellulose régénérées (viscose / rayonne) sont également incluses dans cette définition, puisqu'elles sont produites aussi à partir d'une ressource renouvelable. Les matrices utilisées pourraient être des polymères issus de ressources renouvelables, comme les huiles végétales et l'amidon. A l'heure actuelle, les polymères synthétiques dérivés du pétrole prédominent. Ils sont soit des thermoplastiques soit des thermodurcissables [2].

Les composites à matrice thermodurcissable sont rigides et résistants, mais fragiles. Les composites à matrice thermoplastique présentent de faibles propriétés mécaniques et ductiles (ils présentent des déformations importantes avant de se rompre).

Les composites à base de matrice thermoplastique et de renforts naturels ont été largement étudiés ces dernières décennies en raison de l'épuisement des ressources pétrolières et les réglementations environnementales, qui ont la particularité d'être recyclables et biodégradables [3, 4].

I. 3. DIFFERENTS TYPES DE COMPOSITES

Il existe plusieurs types de matériaux composites dont les principaux sont résumés dans le Tableau I. 1 suivant :

Type de composite	Constituants	Domaines d'application
1. Composites à matrice organique Papier, carton Panneaux de particules Panneaux de fibres Toiles enduites Matériaux d'étanchéité Pneumatiques Stratifiés Plastiques renforcés	Résine/charges/fibres cellulosiques Résine/copeaux de bois Résine/fibres de bois Résines souples/tissus Elastomères/bitume/textiles Caoutchouc/toile/acier Résine/charges/fibres de verre, de carbone, etc. Résines/microsphères	Imprimerie, emballage, etc. Menuiserie Bâtiment Sports, bâtiment Toiture, terrasse, etc. Automobile Domaines multiples
2. Composites à matrice minérale Béton Composite carbone carbone Composite céramique	Ciment/sable/granulats Carbone/fibres de carbone Céramique/fibres céramiques	Génie civil Aviation, espace, sports, bio-médecine, etc. Pièces thermo-mécaniques
3. Composites à matrice métallique	Aluminium/fibres de bore Aluminium/fibres de carbone	Espace
4. Sandwiches Peaux Ames	Métaux, stratifiés, etc. Mousses, nids d'abeilles, balsa, plastiques renforcés, etc.	Domaines multiples

Tableau I. 1. Type de composite [5]

I. 4. CONSTITUTION DES MATERIAUX COMPOSITE

I. 4. 1. La matrice

Les matrices ont essentiellement pour rôle de lier les fibres, de transférer les contraintes imposées sur le matériau aux fibres, de les protéger contre les agressions extérieures et de donner la forme finale du matériau. Elles doivent être en outre assez déformable et présenter une certaine compatibilité avec le renfort.

Ainsi, pour pouvoir apporter aux matériaux composites des propriétés mécaniques spécifiques élevées, la matrice doit posséder une bonne affinité aux fibres et une masse volumique faible [6].

Il existe différentes familles de matrices utilisées dans les matériaux composites (Figure I. 2).

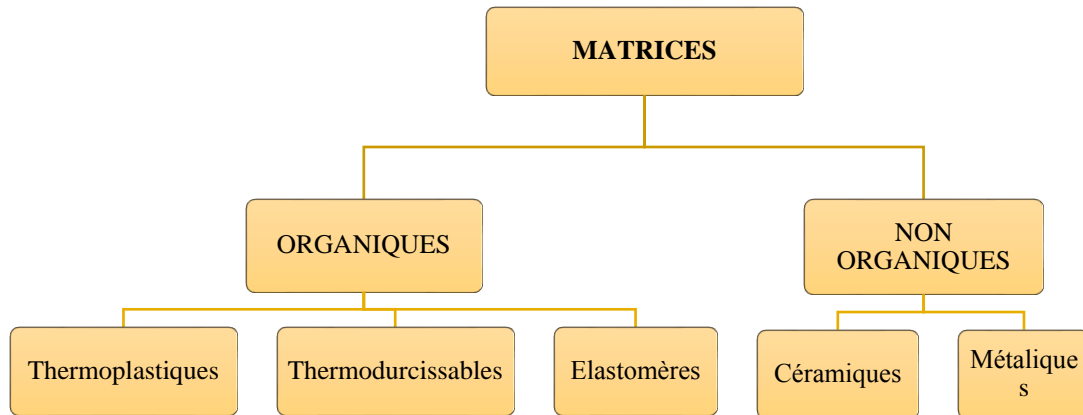


Figure I. 2. Différentes familles de Matrice

Dans le cas des composites à matrices organiques CMO, les résines (polymères ou matrices plastiques) les plus utilisées sont :

a) Matrices thermodurcissables (TD) :

Ce sont les polymères qui prennent leur forme définitive au premier refroidissement, ordinairement sous l'action de la chaleur ou de la pression, la réversibilité de leur transformation physico-chimique est impossible. La réticulation (gélification ou pontage) est l'opération par laquelle la matière première est transformée en matériau rigide, insoluble et infusible. Elle correspond à l'étape finale de la polymérisation.

La réticulation d'une résine thermodurcissable peut être amorcée par la chaleur, un catalyseur, une irradiation ou par le moyen de leurs effets conjugués.

C'est grâce à leur structure fortement réticulée et l'immobilisation de leurs molécules que les thermodurcissables ne peuvent s'écouler, ils possèdent une dureté élevée et s'offrent une bonne tenue au fluage à l'ambiante contrairement aux thermoplastiques. C'est pour ces raisons là qu'ils sont souvent utilisés comme éléments structuraux.

Ils sont aussi employés dans les matériaux composites pour leur fluidité avant réticulation et pendant la mise en œuvre ainsi que pour leur résistivité thermique. Ils ont une grande résistance mécanique. On en cite :

- les polyesters insaturés : polyesters condensés, vinylesters, dérivés allyliques...etc.
- les résines de condensation : phénoliques, furaniques...etc.
- les résines époxydes.
- les aminoplastes : urée, mélamine, formaldéhydes...etc.
- les alkydes [7]

b) Matrices thermoplastiques (TP) :

Les thermoplastiques sont dérivés de polymères légèrement ramifiés (linéaires). C'est pour cette raison qu'ils se déforment et se ramollissent sous l'action de la chaleur, qui se traduit par l'écoulement des chaînes moléculaires les unes sur les autres. En refroidissant, ils reprennent une nouvelle forme. Cette caractéristique particulière de ramollissement au chauffage et de durcissement au refroidissement peut se répéter un bon nombre de fois car, contrairement aux matières thermodurcissables, les thermoplastiques ne subissent aucune transformation chimique ce qui facilite leur fabrication et leur recyclage. Cependant, leur sensibilité à la chaleur reste un inconvénient majeur dans des conditions réelles de travail. Néanmoins, il s'est développé actuellement des résines thermoplastiques avec des résistances thermiques élevées [8].

De nos jours, les pièces fabriquées à partir de thermoplastiques peuvent couvrir toute une gamme de produits, allant des épingles et capteurs à des grands réservoirs d'eau et peuvent inclure des formes complexes telles que des revêtements, des adhésifs, des mousses, des plastiques renforcés (armés), ainsi que des matériaux résistants aux températures élevées [7].

Les principales familles de thermoplastiques trouvées dans le commerce sont :

- les polyéthylènes,
- les polypropylènes,
- les plastiques à base de poly (chlorure de vinyle),
- les polystyrènes,
- les acryliques,
- les nylons,
- les cellulosiques.

Le tableau suivant (Tableau I. 2) représenté certaines caractéristiques des résines thermoplastiques et thermodurcissables :

Caractéristiques	Thermoplastiques	Thermodurcissables
Etat de base	Solide (prêt à l'emploi polymérisé)	Liquide visqueux à polymériser
Stockage matière de base	Illimité	Temps réduit (précautions à prendre)
Mouillabilité des renforts	Difficile	aisée
Moulage	Chauffage (fusion/ramollissement +refroidissement de fixation)	Chauffage continu
Cycle	court	plus long (polymérisation)
Tenue au choc	assez bonne	limitée
Tenue thermique	réduite sauf nouveaux TP thermostables	meilleure
Chutes et déchets	recyclables	perdus
Conditions de mise en œuvre	bonnes + propreté	émanations pour méthode humide (allergie possible)

Tableau I. 2. Différentes caractéristiques des résines thermoplastiques et thermodurcissables [7].

c) Matrices élastomères :

Les élastomères ont des structures et des propriétés voisines de celles des matières thermoplastiques, (On peut même les inclure dans la famille des thermoplastiques).

Ils sont plus connus sous le nom de "*caoutchouc*". Ce sont des polymères fortement élastiques, ils sont assez spéciaux du fait qu'ils peuvent être étirés de plusieurs fois leur longueur et ils reprennent toujours leur forme initiale sans garder une déformation permanente. Dans la famille des élastomères on retrouve :

- le poly isoprène (caoutchouc naturel),
- le polybutadiène,
- le polyisobutylène,

La principale différence entre un thermoplastique et un élastomère est la température de transition vitreuse. Cette dernière est en dessous de la température ambiante pour le thermoplastique ce qui le rend dur et cassant alors qu'elle est en dessus de l'ambiante pour l'élastomère le rendant mou et souple (Cette règle n'est valable que pour les polymères amorphes).

Les élastomères sont fortement réticulés et la plupart des objets en caoutchouc ne contiennent qu'une seule macromolécule, ce qui les rend difficilement recyclables [8].

d) Matrices thermostables :

Ce sont des polymères présentant des caractéristiques mécaniques stables sous des pressions et des températures élevées (>200°C) appliquées de façon continue. Cette propriété est mesurée en déterminant la température que peut supporter la résine durant 2000 heures sans perdre la moitié de ses caractéristiques mécaniques [8].

Mais tout comme les résines élastomères, les thermostables ne sont pas très employés dans l'industrie des composites

I. 4. 2. Renfort

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 au 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. 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 fibreux se présentent sous diverses formes commerciales [5]:

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

Les tissus et rubans

Un tissu (ou ruban) est un ensemble surfacique de fils, de mèches, etc., réalisé sur un métier à tisser. Il est constitué (Figure I. 3):

- 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.

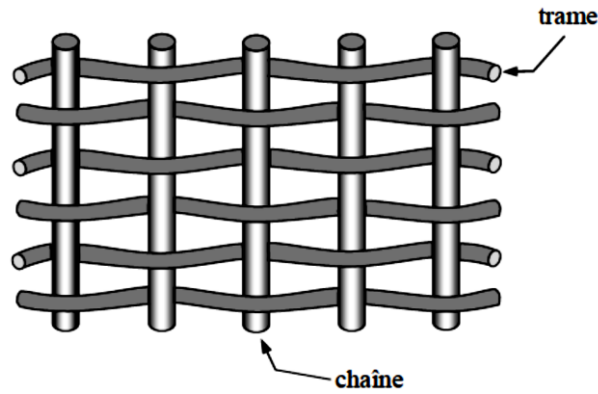


Figure I. 3. Chaîne et trame d'un tissu [5]

Les tissus diffèrent 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 chaîne et des fils de trame [6]. Il existe différentes armatures dont les principales sont :

- **Taffetas**

Chaque fibre de chaîne passe alternativement sous et sur chaque fibre de trame (Figure I. 4). Le tissu est symétrique, avec une bonne stabilité et une porosité raisonnable. Cependant, c'est le plus difficile des tissages à draper, et le haut niveau de sertissage des fibres confère des propriétés mécaniques relativement faibles comparées avec les autres styles de tissage. Avec de grandes fibres (tex élevé) ceci le style de tissage donne un sertissage excessif et donc il n'est pas généralement utilisé pour les tissus très lourds [9].

- **Sergé**

Une ou plusieurs fibres de chaîne se tissent alternativement et sous deux ou plusieurs fibres de trame d'une manière régulière et répétée (Figure I. 4). Cela produit l'effet visuel d'une diagonale droite ou brisée 'Côte' au tissu. Supérieur humide et drapé est vu dans le sergé tisse sur le tissage uni avec seulement une petite réduction en stabilité. Avec un sertissage réduit, le tissu a également surface plus lisse et propriétés mécaniques légèrement supérieures. Variation de la résistance à la flexion avec la fraction volumique de la fibre [9].

- **Satin**

L'armure satin est assez semblable à celle du sergé, mais le nombre de fils chaîne et de fils trame qui passent les uns sur les autres avant de s'entrecroiser est plus élevé (Figure I. 4). Chaque tissu satin est caractérisé par un nombre usuellement 4 ou 8, indiquant que les fils chaîne passent sur 4 ou 8 fils trame. Il en résulte un tissu avec une face qui contient plus de fils chaîne et une autre face plus de fils trame. L'armure satin est bien adaptée au moulage de formes complexes [9].

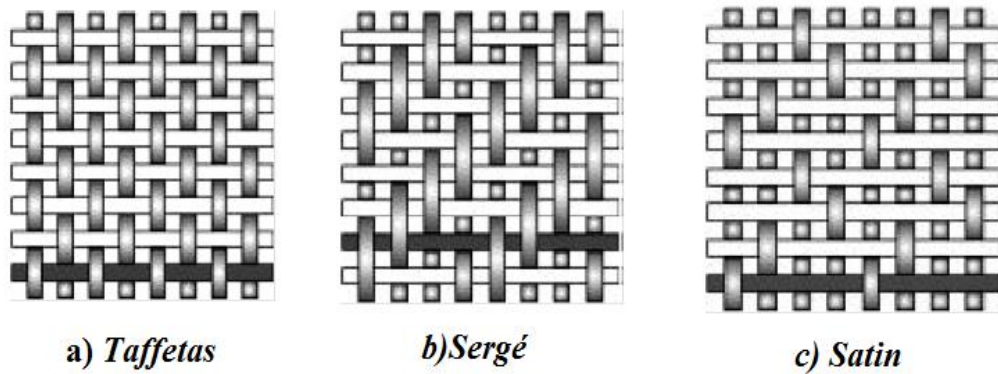


Figure I. 4. Les principaux types d'armures utilisées pour le tissage des tissus. [9]

I. 5. PROCÉDES DE MISE EN ŒUVRE DES COMPOSITES

Une exigence essentielle dans le choix du procédé de mise en œuvre d'un composite est qu'il permette de réduire au minimum la formation de vides. Une autre exigence, tout aussi importante, est qu'il doit assurer une distribution uniforme de la résine et des fibres dans le moule. Ces deux exigences sont généralement couplées avec le coût et la flexibilité dans la fabrication de différents types de composites.

Face aux avantages des composites en termes de rigidité, de résistance et de réduction de poids, l'augmentation correspondante des coûts des matériaux et des procédés de fabrication doit être prise en compte. Plusieurs techniques de fabrication sont disponibles pour mettre en œuvre une grande variété de renforts et de résines, dont les principaux sont regroupés dans la Figure I. 5 [10].

Les données du marché des composites de l'UE en 2010 ont montré que jusqu'à 30% des composites à fibres végétales étaient fabriqués avec des matrices thermodurcissables, le reste utilisant des matrices thermoplastiques. Ces données montrent la tendance générale à favoriser l'utilisation de matrices thermoplastiques puisque ces dernières donnent lieu à des procédés plus propres, sans produits toxiques tout en facilitant le recyclage de la pièce fabriquée. Les matrices thermoplastiques sont aussi caractérisées par un coût plus faible pour une production à haut volume [11].

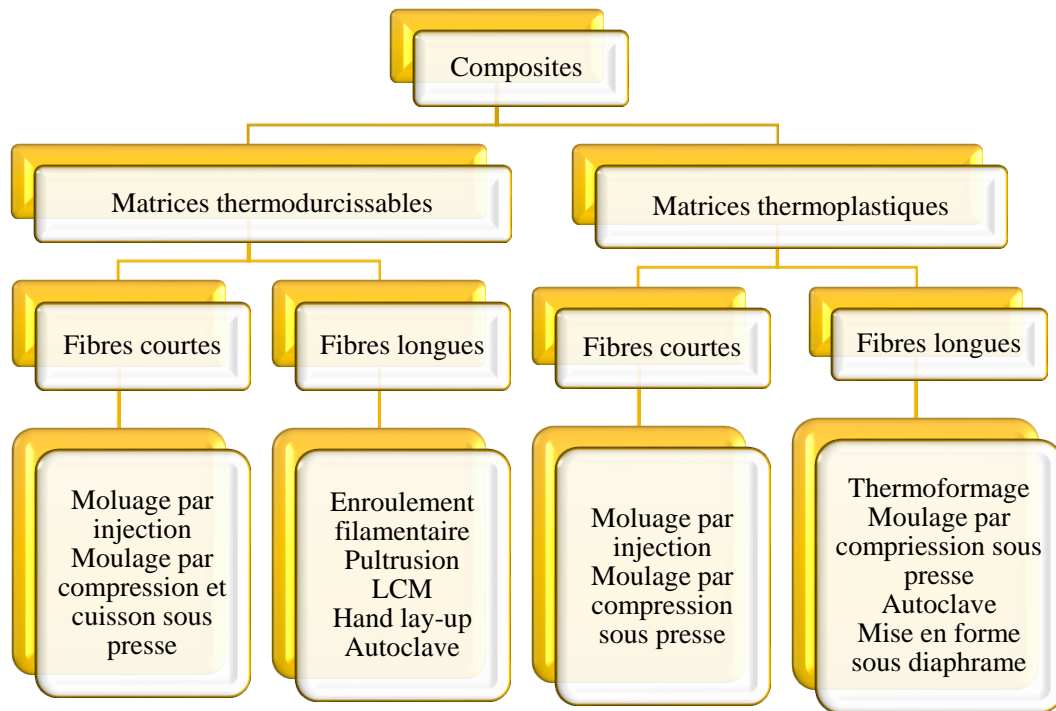


Figure I. 5. Différents procédés de fabrication des composites à matrices polymériques.

Le Tableau I. 3 présente quelques caractéristiques de certains procédés de moulage des composites :

Techniques de fabrication	Pression de Consolidation (bar)	Fraction volumique des fibres (%)	Type de matrice
Moulage par injection	>1000 bar	Jusqu'à 45%	Thermoplastiques
Moulage par compression	Jusqu'à 40 bar	Jusqu'à 85%	Thermoplastiques ou Thermodurcissables
Pré-impregnation	0-10 bar	Jusqu'à 60%	Thermodurcissables
RTM	0-4 bar	Jusqu'à 60%	Thermodurcissables

Tableau I. 3. Principales caractéristiques des techniques de fabrication [11].

I. 5. 1 Moulage par compression

I. 5. 1. 1. Moulage par injection de résine

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 (Figure I. 6). 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 [5].

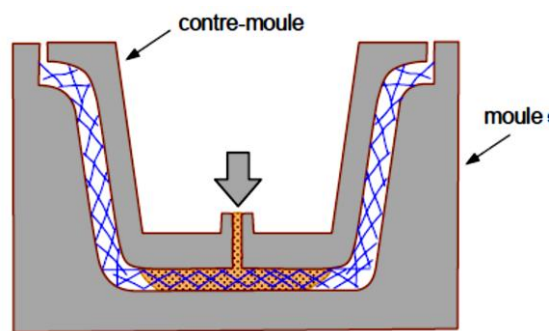


Figure I. 6. Moulage par injection de résine [5]

I. 5. 1. 2. Moulage par compression à froid

Le moulage est effectué à basse pression (< 5 bars) sans chauffage du moule, en utilisant l'exo thermie de polymérisation de la résine. L'énergie calorifique accumulée par le moulage des pièces est alors suffisante pour maintenir le moule à des températures de 50 à 70 °C, en fonctionnement permanent.

Le moule et contre-moule sont enduits d'agent de démoulage et de gel-Coat. Puis le renfort et la matrice sont déposés sur le moule. L'ensemble moule/contre-moule est fermé, puis pressé (Figure I. 7). Le temps de polymérisation est lié au type de résine, au catalyseur et à la température atteinte par le moule en régime continu de production.

Ce procédé de moulage est adapté à la fabrication de pièces de moyennes séries (4 à 12 pièces par heure). L'investissement (matériel et moule) est moins important que le procédé de compression à chaud. La presse basse pression est simplifiée. Les moules peuvent être réalisés par le transformateur en matériaux composites. Les pièces possèdent un bel aspect de surface sur chaque face. La productivité est inférieure au moulage à la presse à chaud [5].

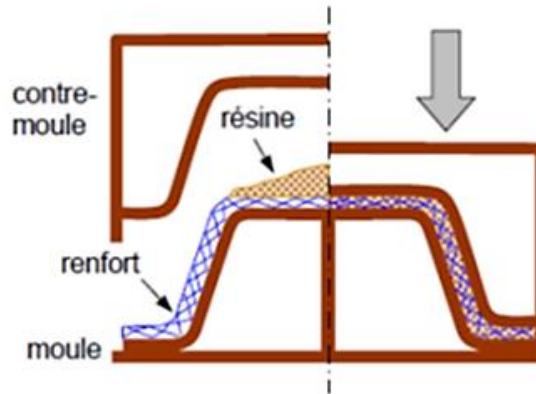


Figure I. 7. Moulage par compression à froid [5]

I. 5. 1. 3. Moulage par compression à chaud

Cette technique permet d'obtenir des pièces en grandes séries au moyen de presses hydrauliques et de moules métalliques chauffants.

Le renfort, constitué par du mat à fils coupés ou à fils continus, par des tissus ou par des préformes, est déposé sur le moule chauffant, enduit au préalable d'un agent de démoulage. Puis la résine catalysée est coulée en vrac sur le renfort. Le moule est fermé suivant un cycle déterminé par descente et pressage du contre moule (Figure I. 8).

Le temps de pressage est lié au temps de polymérisation de la résine, fonction de la réactivité de la résine et de l'épaisseur de la pièce. Le moule est ensuite ouvert, et la pièce éjectée.

Ce procédé de moulage permet d'obtenir des proportions importantes de renfort, et par conséquent des pièces de bonnes caractéristiques mécaniques. Les dimensions des pièces sont fonction de l'importance de la presse. La pression de moulage est de l'ordre de 10 à 50 bars, la température des moules de l'ordre de 80 à 150 °C. Les cadences de fabrication peuvent atteindre 15 à 30 pièces par heure. Elles nécessitent un investissement important en matériel, presse et moule [5].

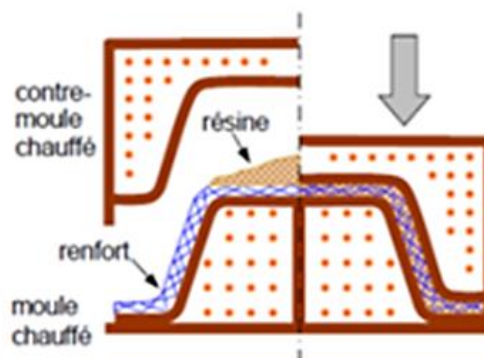


Figure I. 8. Moulage par compression à chaud [5]

I. 5. 2. Moulages sans pression

Les méthodes de moulage à froid et sans intervention d'une presse sont les méthodes les plus simples à mettre en œuvre. Elles nécessitent un minimum d'équipement et par conséquent d'amortissement

I. 5. 2. 1. Moulage au contact

Avant moulage, le moule est revêtu d'un agent de démoulage, puis généralement d'une fine couche de résine de surface, souvent colorée, dénommée "gel-Coat".

Le moulage (Figure I. 9) est ensuite effectué selon les opérations suivantes :

1. Le moule est enduit avec de la résine catalysée et accélérée, au pinceau ou au rouleau.

2. Le renfort : mat, tissu, etc., est disposé dans le moule. Divers types de renforts peuvent être utilisés suivant les différentes parties de la pièce. Les renforts doivent alors se superposer.

3. Le renfort est ensuite imprégné avec la matrice, puis un débullage est effectué avec un rouleau cannelé.

4. Après gélification de la première couche, les couches suivantes sont appliquées, en utilisant la même technique. Des inserts peuvent être mis entre ces couches : tubes, vis, écrous, armatures, etc.

5. Le démoulage est ensuite effectué après un temps qui dépend de la résine et de la température (de l'ordre de 10 heures).

6. La polymérisation est ensuite effectuée en milieu ambiant pendant plusieurs semaines. Cette polymérisation peut éventuellement être accélérée par étuvage (par exemple 5 à 10 heures, aux environs de 80 °C)

7. Après polymérisation, on procède à la finition de la pièce : ébarbage, ponçage, éventuellement peinture, etc. [5].

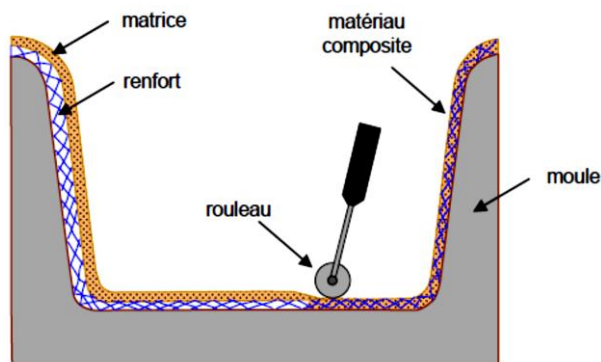


Figure I. 9. Principe du moulage au contact [5]

I. 5. 2. 2. Moulage par projection simultanée

Le moulage est effectué par projection simultanée de fibres coupées et résine catalysée sur un moule (Figure I. 10). L'équipement à projeter est constitué d'une machine à couper le stratifié 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 [5].

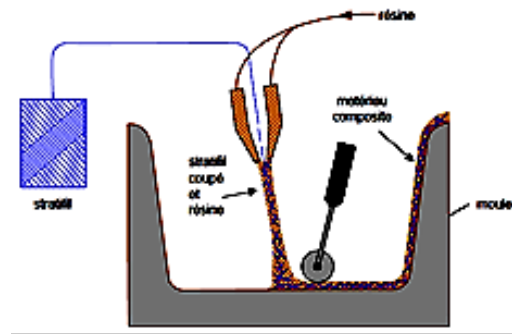


Figure I. 10. Principe du moulage par projection simultanée [5]

I. 5. 3. Moulage sous vide

Le moulage sous vide consiste à utiliser simultanément le vide et la pression atmosphérique (Figure I. 11). 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.

Ce procédé de moulage convient pour la fabrication de pièces en petites et moyennes séries. Il permet d'obtenir de bonnes qualités mécaniques, grâce à une proportion de résine uniforme et à une diminution des inclusions d'air. Dans le cas de l'utilisation d'un contre-moule rigide, un bel aspect de surface est obtenu sur les deux faces. Les cadences de production sont toutefois assez lentes [5].

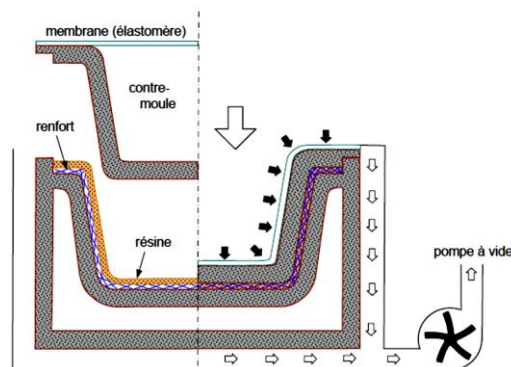


Figure I. 11. Moulage sous vide [5]

I. 6. AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES COMPOSITES

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

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

Cependant certains inconvénients freinent leur diffusion.

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

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

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

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

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

CHAPITRE

II

*Généralités sur les
fibres végétales*

II. 1. INTRODUCTION

Depuis plus d'un siècle, les fibres naturelles sont utilisées dans de nombreux domaines d'application tels que le textile et le papier. Aujourd'hui avec l'intérêt croissant des industries pour des produits écologiquement corrects, des fibres naturelles sont produites pour des applications en tant que renfort dans des matrices polymères (biodégradables ou non). Les marchés principaux sont l'industrie automobile et l'industrie de l'emballage. De bonnes propriétés mécaniques, une faible densité, un faible coût ainsi que la disponibilité des fibres naturelles représentent les avantages majeurs par rapport aux fibres traditionnelles [14].

II. 2. LES FIBRES NATURELLES

Les fibres naturelles sont subdivisées en fonction de leurs origines, provenant de plantes, d'animaux ou de minéraux. Toutes les fibres végétales sont composées de cellulose tandis que les fibres animales se composent de protéines (cheveux, soie et laine). Les fibres végétales comprennent les fibres(ou tige ou sclérenchyme mou) fibres, feuilles ou fibres dures, graines, fruits, bois, paille de céréales et autres fibres d'herbe. Plus de ces dernières années, un certain nombre de chercheurs ont été impliqué dans l'étude de l'exploitation des fibres naturelles en tant que constituants porteurs de charge dans les matériaux composites (Figure II.1). L'utilisation de ces matériaux dans les composites a augmenté en raison de leur bon marché relatif, leur capacité à recycler et pour le fait qu'ils peuvent bien rivaliser en termes de force par poids de matériau. Les fibres naturelles peuvent être considérées comme composites naturels composés principalement de cellulose fibrilles incorporées dans la matrice de la lignine. Les fibrilles de cellulose sont alignées sur la longueur de la fibre, ce qui rend le maximum résistance à la traction et à la flexion, en plus de fournir rigidité. L'efficacité de renforcement de la fibre naturelle est liée à la nature de la cellulose et sa cristallinité. Les principaux composants des fibres naturelles sont la cellulose (α -cellulose), l'hémicellulose, la lignine, les pectines et les cires. [9]



Figure II. 1. Application des matériaux composites à base de fibres naturelles

Les fibres végétales sont considérées parmi les ressources de la biomasse et qui participent au développement durable. Selon leurs origines, ils peuvent être groupés dans les catégories suivantes (Figure II. 2) :

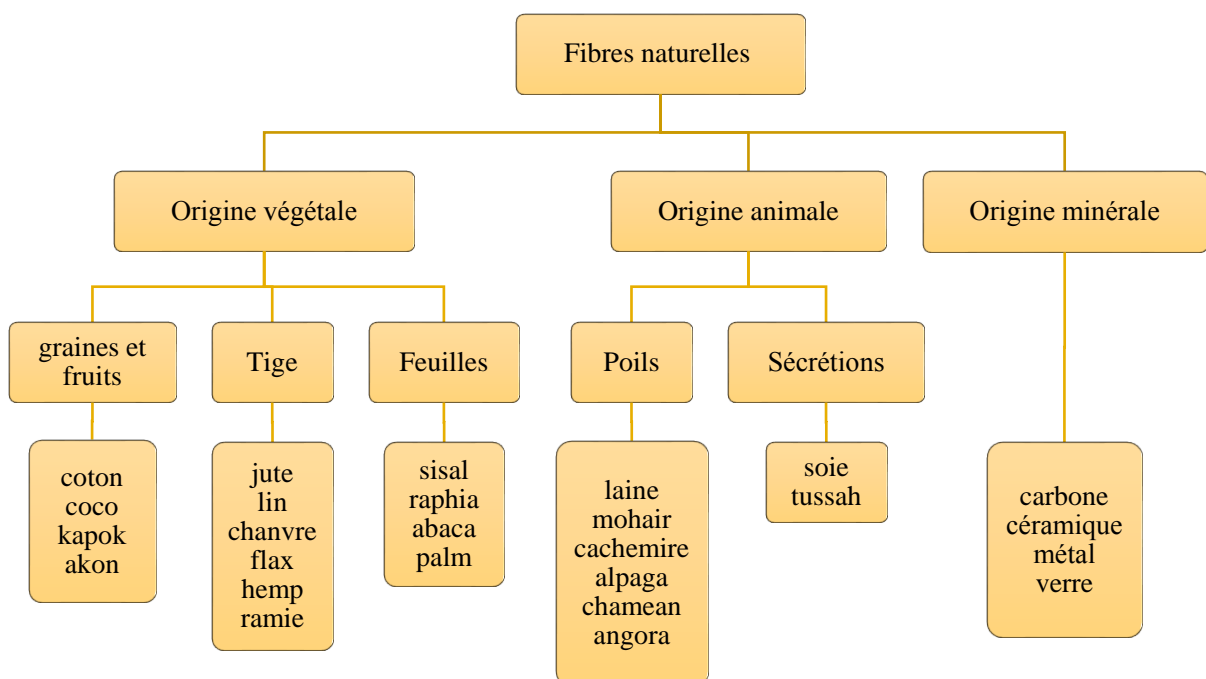


Figure II. 2. Classification des fibres naturelles [1]

II. 3. LES FIBRES VEGETALES

II. 3. 1. Définition

Les fibres naturelles les plus utilisées pour le renforcement des matières plastiques sont les fibres d'origine végétale. En Europe, il est aisé de produire du bois, du lin ou du chanvre.

De point de vue de la gestion des ressources, le lin et le chanvre sont des plantes annuelles, et par conséquent, leur croissance peut être accrue facilement, tandis que le bois qui, lui, nécessite des années avant de pouvoir être exploité [15].

La Figure II. 3 représente des fibres végétales comme des tissus pour le renforcement de composite.



Chanvre



Jute



Sisal



Coton



Coco



Lin

Figure II. 3. Quelques exemples de tissus de fibres végétales [15]

II. 3. 2. Classification des Fibres Végétales

1. 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 [16, 17] :

a) L'abaca

L'Abaca ou chanvre (Figure II. 4) de Manille est un bananier textile (Musacées) qui pousse aux Philippines : les fibres dans les gaines foliaires forment un pseudo tronc très

recherché pour la fabrication de cordages légers et insubmersibles, et aussi de rabanes, nappes, stores, vêtements.

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

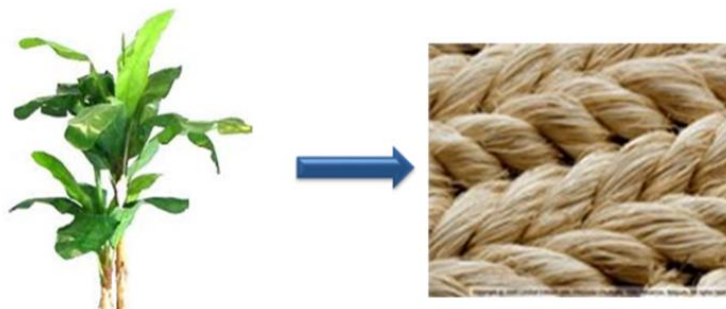


Figure II. 4. Fibre d'abaca [19]

b) Le sisal

Le sisal est une espèce d'agave, ses fibres sont extraites des feuilles de la plante sisal (Figure II. 5) dont le nom scientifique est *agave sisalana*. Originnaire du Yucatan (près des Antilles), elle est essentiellement cultivée en Amérique du sud, en Afrique et en extrême orient.

Un plant de sisal produit jusqu'à 300 feuilles et chaque feuille contient 1000 à 1200 paquets de fibres. Ces dernières sont relativement rigides et flexibles et sont multicellulaires avec des cellules ayant différentes formes.

La longueur des fibres de sisal varie de 0,6 à 1,2 m avec un diamètre moyen de 200 μm leur couleur est crème (parfois jaunâtre).

Les méthodes de traitement pour l'extraction des fibres ressemblent étroitement à celles du lin ; les fibres sont ensuite lavées à grande eau afin d'enlever les déchets [18].



Figure II. 5. Fibre de sisal [19].

2. Les fibres de bois

Les fibres de bois proviennent du broyage des arbres tels que les bambous ou les roseaux. Elles sont généralement courtes. Plusieurs chercheurs ont montré l'efficacité de ces fibres dans le renforcement des ciments [16].

a) Le bambou

Le bambou (Figure II.6) est une herbe dont le nom scientifique est Gramineae (Poaceae). Il fait partie de la sous-famille des Bambusoideae et de la branche des Bambuseae.

Il existe plus de 1200 espèces de bambou distribuées à travers le monde, mais principalement en Asie et en Amérique du Sud. Les bambous sont très faciles à cultiver, très appropriés pour les régions tropicales et subtropicales, ils poussent en touffes, ont une reproduction unisexuée et une durée de vie de 5 à 20 ans. Le bambou est l'espèce la plus ancienne et il fait partie des plantes les plus répandues et les plus utilisées dans le monde [19].

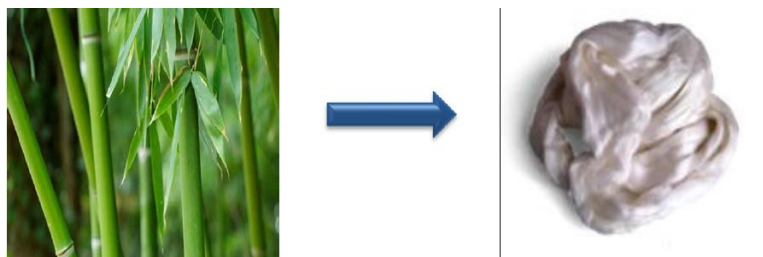


Figure II. 6. Fibre de bambou [19]

3. 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 [17].

a) Le coton

Le cotonnier est un petit arbuste annuel de 1 à 1,50 m de haut. Il est cultivé dans les zones chaudes d'Amérique, d'Afrique, d'Asie et mêmes d'Europe (Espagne). Les fibres de coton (Figure II. 7) proviennent des graines, et sont appelés linters.

Cette fibre est utilisée pour ses bonnes caractéristiques physique et mécanique. En effet, les linters de coton mesurent 2 à 5 mm et ont une largeur de 18 μm . 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. Cette fibre est aussi beaucoup utilisée dans le domaine du textile [17].



Figure II. 7. Fibre de coton [19].

b) Le coco

Les fibres de coco (Figure II.8) proviennent de la couche fibreuse qui entoure la noix de coco. Elles sont filées et tissées après avoir été assouplies dans l'eau. Le filage grossier et irrégulier donne au coco un aspect rustique. Le coco est très résistant, il est isolant, imputrescible et antibactérien. [17].



Figure II. 8. Fibre de coco [19]

4. 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 commercialisées sous forme de paquet de cor et en toute longueur. Les fibres de tige les plus utilisées sont [17].

a) Le lin

Le lin est une plante annuelle de la famille des linacées (*linum usitatissimum*), cultivée pour ses graines ou pour ses fibres (lin textile) (Figure II. 9). Un plant de lin textile possède généralement une tige unique, qui atteint 0,60 à 1,20 m de hauteur et qui est plus longue que celle du lin oléagineux (à graines).

Le lin est récolté par des racinages des plantes qui sont ensuite empilés pour sécher. Après la récupération des graines, la paille est traitée par rouissage permettant la séparation de la partie ligneuse des fibres. Le rouissage par immersion se fait dans certains pays ; les pailles

sont plongées dans des mares ou ruisseaux où les micro-organismes favorisent la décomposition.

Après le rouissage, vient alors le teillage où les fibres de lin sont broyées. Cette étape donne naissance à deux sortes de fibres : les fibres linéaires (droites et longues) et la fillasse (fibres enchevêtrées et emmêlées). Les deux variétés de fibres sont employées dans l'industrie des composites [20].

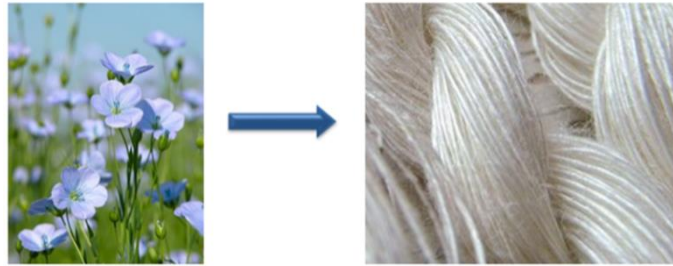


Figure II.9. Fibre de lin [19]

b) Le chanvre

Le chanvre (*Cannabis sativa*) est une plante herbacée annuelle d'Eurasie appartenant à la famille des cannabacées (Figure II. 10). La hauteur des tiges varie de 1 à 5 m. La tige est creuse et recouverte d'écorce fibreuse, ce sont les fibres de cette écorce qui servent de renfort après avoir subi le même traitement que celui des fibres de lin. La fibre ultime est moins régulière, plus aplatie et légèrement plus lignifiée que celle du lin [20].



Figure II. 10. Fibre de chanvre [19].

c) Le Kénaf

Le kénaf est une plante herbacée, composée de plusieurs variétés d'environ 300 espèces (Figure II. 11). La tige de la plante peut atteindre 3 m de haut. Il se trouve principalement dans les régions tropicales et en Amérique du Sud. La longueur moyenne des fibres (1,5 mm) est comprise entre celle des fibres de feuillus et celle des fibres de résineux. Il dispose d'un bon potentiel en tant que matière première pour l'utilisation dans des produits composites [1].



Figure II. 11. Fibre de kénaïf [19]

d) Le jute

Le jute est la filasse extraite de la tige des plantes herbacées du genre *Corchorus* issues de la famille des Tiliacées.

Il pousse en grande partie à Bangladesh, sa hauteur varie de 4 à 6 m avec un diamètre d'environ 3 cm. Il existe deux espèces de jute : une blanche et un rouge.

La fibre de jute (Figure II. 12) contient des paquets de cellules fondamentales qui contiennent des micros fibrilles orientées et reliées entre elles sous la forme d'une spirale. Leur structure est assez similaire à celle du lin, du chanvre et du sisal [20].



Figure II. 12. Fibre de jute [19]

II. 4. METHODES D'EXTRACTION DES FIBRES VEGETALES

L'extraction de fibres végétales est un procédé classique. Le filage des fibres nécessite des transformations : extraction et purification la matière première ou brute en une forme filable. Vu la diversité des matières brutes, le procédé d'extraction diffère d'un type à l'autre. Par contre, d'autres types se récoltent sous forme de tiges. Donc l'extraction des fibres ultimes (filables) est nécessaire. Au cours de l'extraction, on élimine les liants comme les pectines et la lignine. Les fibres obtenues sont appelées les fibres ultimes. Selon la nature et le domaine d'utilisation des fibres, de différents types de traitements sont proposés : mécaniques, chimiques et biologiques (bactéries et enzymes).

Les différentes techniques d'extraction (Figure II. 13) sont [21] :

II. 4. 1. Rouissage biologique

C'est une méthode d'extraction traditionnelle. Le principe repose sur l'utilisation des bactéries de l'environnement pour dissoudre les extractibles. Certaines bactéries, telles que

Clostridium, utilisées lors du rouissage à l'eau et certains champignons comme Fusariuslaterium, sont utilisées lors du rouissage à la rosée. Ces derniers se sont révélés très efficaces pour l'élimination des substances non cellulosiques des plantes et libérer a fibre. Malgré le temps d'extraction relativement long, le rouissage atmosphérique fournit des fibres de qualité. On note que le contrôle de la qualité de la fibre n'est pas aisé.

II. 4. 2. Rouissage chimique

Des solutions alcalines ou acides doux sont souvent utilisées pour le rouissage L'introduction des enzymes accélère le processus de libération de la fibre. L'alcali le plus utilisé est la soude caustique, Les acides doux comme l'acide sulfurique oxalique en combinaison avec un détergent sont aussi utilisés pour l'extraction des fibres.

On note que la proportion des constituants de la solution de traitement détermine la qualité des fibres extraites.

II. 4. 3. Rouissage mécanique

La séparation mécanique quant à elle utilise des machines à décortiquer : le vapocraquage, l'ammoniaque et le processus Tilby. Cette dernière se révèle efficace notamment dans l'extraction des fibres de canne à sucre, de maïs et d'autres plantes cellulosiques. L'avantage de ce processus est de réaliser une extraction sans désintégration des constituants.

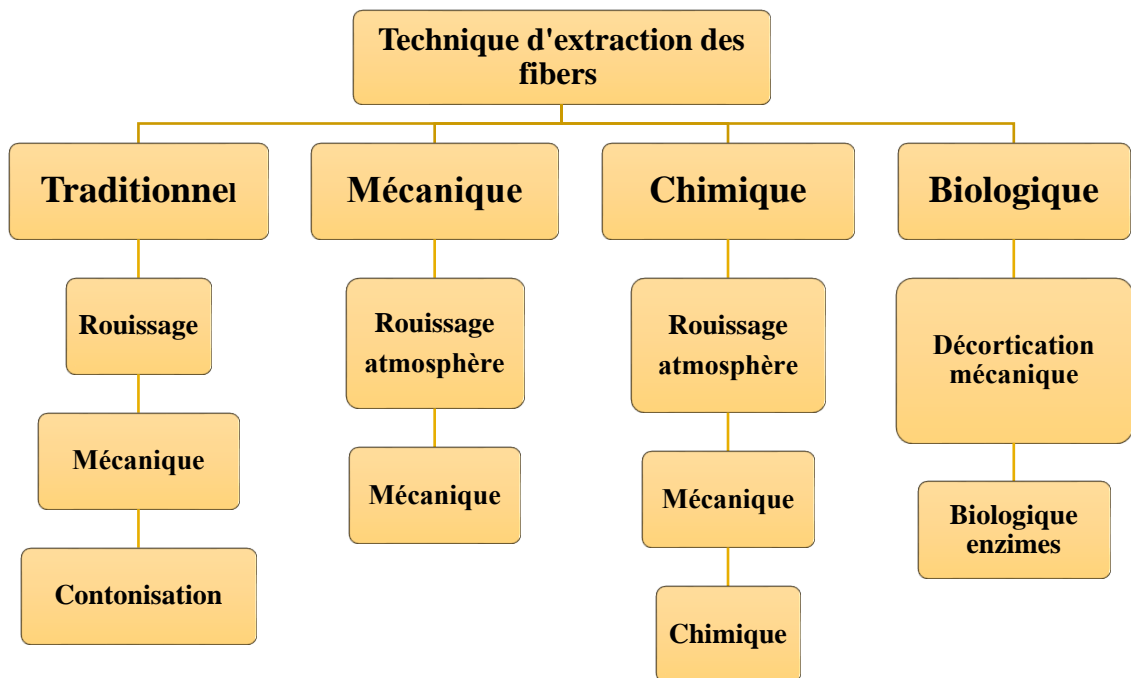


Figure II. 13. Techniques d'extraction des fibres végétales [19]

II. 5. CARACTERISTIQUES DES FIBRES VEGETALES

II. 5. 1. Composition chimique de la fibre végétale

Une fibre végétale est assimilable à un matériau composite renforcé par des fibrilles de cellulose. La matrice est principalement composée d'hémicellulose et de lignine. Les fibrilles de cellulose sont orientées en hélice suivant un angle nommé angle micro fibrillaire. Habituellement, dans un matériau composite, le taux de renfort et l'orientation des fibres conditionnent les caractéristiques élastiques et à rupture. De même, dans une fibre végétale, les propriétés physiques des fibres naturelles sont principalement déterminées par la composition chimique et physique, la structure, le pourcentage de cellulose, l'angle micro fibrillaire, la section et le degré de polymérisation. En simplifiant, pour un pourcentage de cellulose donné, plus l'angle micro fibrillaire sera faible et plus la rigidité et la résistance de la fibre seront élevées ; plus l'angle micro fibrillaire sera important et plus l'allongement à la rupture sera important. Le Tableau II. 1 présente Paramètres structuraux des fibres végétales, pour différentes fibres, le pourcentage de la cellulose, l'angle micro fibrillaire, les dimensions des fibres et le rapport d'aspect L / d (longueur / diamètre), ce rapport étant un paramètre important pour permettre le transfert de charges entre fibre et matrice [22].

Fibre	Angle spiral (°)	Section A *10⁻² mm²	Longueur de cellule L (mm)	Ratio L/D (D : diamètre de cellule)
Jute	8.0	0.12	2.3	110
Flax	10.0	0.12	20.0	1687
Chanvre	6.2	0.06	23.0	960
Ramie	7.5	0.03	154	3500
Sisal	20.0	1.10	2.2	100
Coco	45.0	1.20	3.3	35

Tableau II. 1 : Paramètres structuraux des fibres végétales différentes [1]

II. 5. 2. Propriétés mécaniques des fibres végétales

De manière générale, les fibres naturelles sont convenables à renforcer des matrices thermodurcissables et thermoplastiques, grâce à leur résistance et leur rigidité relativement hautes et leur basse densité. Les propriétés mécaniques des fibres végétales en traction présentent de nombreux atouts pour renforcer les matériaux composites si on s'intéresse aux impacts environnementaux. Cependant, il y a relativement peu de données fiables disponibles dans la littérature pour leur sélection, dues aux limitations dans la méthodologie d'essai [14]. Les propriétés de fibres végétales sont données dans le Tableau II. 2.

Propriétés	Type de fibres						
	Lin	Chanvre	Jute	Coco	Sisal	Abaca	Coton
Densité	1,4	1,48	1,46	1,25	1,33	1,5	1,51
Résistance à la traction (MPa)	800-1500	50-900	400-800	220	600 -700	980	400
Module d'élasticité (E) (GPa)	60-80	70	10-30	6	38	-	12
(E/densité) spécifique	26-46	47	7-21	5	29	-	8
Allongement à la rupture (%)	1,2-1,6	1,6	1,8	15-25	2-3	-	3-10
Absorption d'eau (%)	7	8	12	10	11	-	8-25
Production mondiale en 2002 en milliers de tonnes/an	750	78	3200	654	345	104	21200

Tableau II. 2. Les propriétés usuelles des fibres végétales [23]

II. 6. FACTEURS INFLUENÇANT SUR LES COMPOSITES A RENFORT NATUREL

II. 6. 1 Dispersion des fibres

La dispersion des fibres dans un matériau composite est un facteur important pour garantir de bonnes propriétés mécaniques. Une mauvaise répartition se traduit par la présence d'agglomérations de fibres. Ainsi, des zones riches en fibres ou en matrice apparaissent, aléatoirement réparties et possèdent de mauvaises propriétés.

Pour garantir une bonne dispersion des fibres dans le composite, il est essentiel d'éliminer ou de limiter les agglomérations. Un bon mouillage est obtenu lorsque chaque fibre est totalement enrobée de matrice.

L'extraction des fibres naturelles à partir des plantes n'aboutit généralement pas à des fibres unitaires totalement séparées. Il existe toujours des faisceaux où les fibres sont collées entre elles avec de la pectine et de la lignine. La séparation des fibres unitaires peut être effectuée par alcalisation. De plus, l'incorporation des fibres naturelles (polaires) dans une matrice thermoplastique telle que le polypropylène (apolaire), peut conduire à la formation d'agglomérats de fibres à cause des fortes liaisons hydrogènes intermoléculaires. Des agents chimiques tels que l'anhydride acétique et l'acide stéarique permettent de réduire la polarité des fibres naturelles et de les rendre ainsi plus compatibles avec les matrices thermoplastiques. De plus, il est possible de mieux séparer les fibres et garantir une bonne dispersion dans la matrice, pendant la phase de mise en œuvre, par injection ou extrusion [23].

II. 6. 2. Orientation des fibres

L'orientation des fibres dans un composite joue un rôle important dans les propriétés mécaniques. En effet, une orientation privilégiée a tendance à fragiliser le composite dans le sens transverse de cette orientation. Les composites à fibres discontinues sont peu orientés. Cependant, lors de la mise en œuvre des composites par injection et extrusion, des directions d'écoulement de matières privilégiées peuvent apparaître menant à un alignement des fibres. Les propriétés mécaniques sont bien évidemment très supérieures dans le sens du renfort, comme dans le cas des matériaux fortement orientés tels que les composites unidirectionnels. Ce caractère anisotrope est pris en compte dans l'utilisation de certaines pièces. Plusieurs paramètres peuvent influencer l'orientation des fibres lors de la mise en œuvre des composites [23]:

- ✓ Les dimensions des fibres
- ✓ Les propriétés viscoélastiques de la matrice polymère à l'état fondu.

- ✓ La forme de l’empreinte du moule
- ✓ Les traitements des fibres

II. 6. 3. Stabilité thermique des fibres naturelles

Un des principaux inconvénients dans l'utilisation des fibres naturelles comme renfort dans les matériaux composites réside dans la limitation de la température de mise en œuvre autorisée. En effet, une mise en œuvre à des températures supérieures à la température de dégradation pourraient affecter les propriétés des composites. Les problèmes de stabilité thermique et de dégradation de ces fibres sont bien connus. La dégradation thermique commence à se produire à des températures de l'ordre de 200°C. Il est tout de même possible d'utiliser des températures plus élevées pendant de courtes durées. Des traitements chimiques, tels que l'alcalisation, peuvent améliorer la résistance thermique des fibres lignocellulosiques [23].

II. 6. 4. Longueur critique

Le facteur de forme (longueur/diamètre) est un paramètre important dans un matériau composite à fibres discontinues. On définit le facteur de forme critique comme étant le facteur de forme minimal qui permet d'atteindre la contrainte limite de la fibre. Si dans un système composite le facteur de forme est inférieur à la valeur critique, le transfert de charge entre fibre et matrice sera insuffisant et les fibres ne sont pas sollicitées jusqu'à leurs contraintes limites. La fibre sera donc extraite de la matrice avant d'être entièrement sollicitée. Dans le cas contraire, si les longueurs des fibres sont trop importantes, leur dispersion pendant la mise en œuvre devient problématique à cause des agglomérations des fibres. Le facteur de forme critique ne dépend pas seulement des propriétés de la fibre et de la matrice, mais aussi de la qualité de l'interface fibre/matrice. En effet, la charge est transmise par la matrice aux fibres par cisaillement le long de l'interface [24].

II. 6. 5. Interface fibre/matrice

La liaison entre fibre et matrice dépend généralement de l'arrangement atomique et moléculaire ainsi que des compositions chimiques de la fibre et de la matrice. Cependant, les propriétés morphologiques et la capacité de diffusion de chaque matériau sont aussi à prendre en compte dans la compréhension des phénomènes interraciaux. Plusieurs facteurs peuvent donc influencer l'interface et le transfert de charge entre fibre et matrice. Généralement, il s'agit de la contribution de plusieurs facteurs.

Afin d'améliorer l'adhésion fibre/matrice, la fibre est traitée chimiquement ou physiquement. Dans le cas des fibres de verre ou de carbone, la fibre est revêtue d'une substance chimique dite ensimage qui dépend du type de la fibre et de la matrice.

Cependant, ces ensimages sont optimisés pour les thermodurcissables et peu pour les thermoplastiques. Les phénomènes mis en jeu au niveau de l'interface peuvent être décrit par différents mécanismes.

- Enchevêtrement moléculaire et inter diffusion
- Réaction chimique
- Attraction électrostatique
- Emboîtement mécanique.

II. 7. MODIFICATION DE LA FIBRE ET DE LA MATRICE

En raison de la faible compatibilité entre les fibres lignocellulosiques et les matrices thermoplastiques, il est essentiel de traiter la fibre et/ou la matrice. Les différents traitements pouvant être appliqués sont généralement classés en deux catégories : physiques et chimiques.

II. 7. 1. Les traitements physiques

Les différents traitements physiques utilisés pour la modification des fibres sont [22]:

a. Traitement plasma

Un des traitements physiques utilisés pour l'amélioration des propriétés inter faciales fibre naturelle/matrice polymère est le traitement plasma. Pendant le traitement plasma, le substrat est bombardé par des particules de haute énergie se déplacement dans le flux de plasma.

b. Traitement corona

Les procédés de type corona (couronne) sont largement utilisés dans le traitement de surface des matériaux. Différents types de supports peuvent être traités: polymères, aluminium, textiles..., etc.

c. Le traitement thermique de séchage

Le séchage des fibres naturelles avant leur mise en œuvre est un facteur important. Les quantités d'eau contenues dans les fibres sont parfois élevées et agissent comme agent de séparation entre la fibre et la matrice au niveau de l'interface. De plus, lors de la mise en œuvre, l'évaporation de l'eau crée des vides dans les composites et conduit ainsi à la formation d'un réseau de défauts aléatoirement réparti et à de faibles propriétés mécaniques. Dans les cas des thermodurcissables, les températures de réaction dépassent généralement la température d'évaporation de l'eau. Aussi, les thermoplastiques sont mis en œuvre à des températures largement au-dessus de 100°C. Dans ces deux cas, la présence de l'eau ou bien

de sa vapeur favorise la formation de vides et de mauvaise propriété sinter faciales et macroscopiques.

Cependant, lorsqu'une fibre lignocellulosique est exposée à la chaleur, des phénomènes de dégradation peuvent apparaître sur les différents constituants de la fibre (cellulose, hémicellulose, lignine, pectine, graisses...etc.) et dépend de la température et de la durée du traitement.

II. 7. 2. Traitements chimiques

L'utilisation de produits chimiques pour traiter les fibres naturelles et/ou la matrice permette d'améliorer les propriétés d'interface fibre/matrice. Deux voies peuvent être envisagées lors des traitements : traitement des fibres ou application d'agent de couplage.

a. Traitement des fibres

Le traitement des fibres le plus couramment utilisé est la mercerisations. Il s'agit d'une méthode ancienne largement adoptée dans le domaine du textile. Ce prétraitement permet d'éliminer les constituants indésirables de la fibre, telles que la lignine, l'hémicellulose et la pectine. Ce qui entraîne des changements dimensionnels, morphologiques et mécaniques des fibres. La texturation de surface par apparition des microfibrilles donne une rugosité de surface. Ceci peut faciliter l'adhérence mécanique en plus d'une meilleure imprégnation de la résine. Cependant, l'hydroxyde de sodium sous certaines proportions a tendance à faire diminuer la cristallinité des fibres. L'amélioration de leurs propriétés mécaniques dépend étroitement de la conservation de leur cristallinité [25].

b. Agent de couplage

Les agents de couplage dans les composites à renfort naturel jouent un rôle très important dans l'amélioration de la compatibilité et l'adhésion entre les fibres naturelles polaires et des matrices polymères non-polaires. La surface de la fibre est traitée avec un composé, qui forme un pont de liaisons chimiques entre les fibres et la matrice. Jusqu'à présent, plus de quarante agents de couplage ont été utilisés dans l'industrie et la recherche. Les agents de couplage sont classés en trois groupes ; organiques, inorganiques et organiques-inorganiques [22].

II. 8. AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES FIBRES VEGETALES

Le tableau II. 3 présente les avantages et les inconvénients des fibres végétales comme renfort dans la matrice polymère. La biodégradabilité des fibres peut être considérée comme un avantage ou un inconvénient. Pour la recyclabilité, les fibres sont considérées comme avantageuses. Par ailleurs, il n'existe pas de structure composite à durée de vie illimitée, tout matériau étant voué à devenir déchet. L'utilisation de ce type de matériau impose de placer la structure composite en dehors des conditions de biodégradabilité. Cette démarche est appliquée par exemple pour le bois.

Avantages	Inconvénients
- Faible coût	- Absorption d'eau
- Biodégradable	- Fibres anisotropes
- Neutre pour l'émission de CO ₂	- Pour des applications industrielles, nécessite de gestion d'un stock
- Pas de résidus après incinération	- Faible stabilité dimensionnelle.
- Ressource renouvelable	- Faible tenue thermique (200 à 300°C max).
- Propriétés mécaniques spécifiques importantes (résistance et rigidité)	- Variation de qualité en fonction du lieu de croissance, des conditions météorologiques
- Non abrasif pour les outillages	- Renfort discontinu.
- Demande peu d'énergie pour la production	
- Pas d'irritation cutanée lors de la manipulation des fibres	
- Bon isolant thermique et acoustique	

Tableau II. 3. Principaux avantages et inconvénients des fibres végétales comme renforts dans les matrices polymères [1].

II. 9. CONCLUSION

Les fibres naturelles apportent un intérêt considérable lors du remplacement des fibres synthétiques dans les matériaux composites. Même si les fibres naturelles aient des avantages tel que leur prix réduit, leur faible densité, elles ne sont pas totalement exemptes de problèmes. Un sérieux problème causé par les fibres naturelles est leur caractère hydrophile fort qui crée l'incompatibilité avec la plupart des matrices polymériques hydrophobes.

CHAPITRE

III

*Recyclage des
déchets*

III. 1. INTRODUCTION

Parmi les différents modes de gestion des déchets, le recyclage tient une place toute particulière ; considéré par les uns comme la voie royale de la valorisation des déchets, il est contesté par d'autres, qui remettent en cause son intérêt, en soulignant d'éventuels effets négatifs, notamment sur le plan environnemental [26].

Le recyclage constitue un élément clé de notre évolution vers une civilisation durable, mais dans la société actuelle, l'opinion publique perçoit le recyclage selon divers points de vue.

En voici quelques-uns :

- Les activités de recyclage sont relativement récentes.
- Le recyclage a des répercussions positives sur l'environnement.
- Le recyclage constitue un élément du secteur de la gestion des déchets.
- Les produits fabriqués avec des matériaux recyclés sont de qualité inférieure à ceux faits avec des matériaux vierges.

III. 2. DEFINITION DU RECYCLAGE

Le recyclage correspond à la réutilisation des résidus par le producteur. Il peut être court, lorsque ces derniers sont recyclés directement par l'agent ou cédé à un autre producteur de la même branche d'activité. Il s'agit alors de chute de production, que l'on observe dans les aciéries ou papeteries, par exemple. Il peut être long, lorsqu'ils empruntent des filières de collecte et de prétraitement assurées par des professionnels de la récupération. C'est le cas des déchets industriels et commerciaux banals ou de ceux qui sont issus de la consommation des ménages.

Rappellent que des millions de tonnes de matériaux résiduaux produits par les sociétés modernes peuvent être récupérés et recyclés. Leur valorisation peut emprunter plusieurs voies :

- ✓ La réutilisation des produits usagés sous la même forme, telle que la consignation de bouteilles ;
- ✓ La réintégration de matériaux dans le cycle productif dont ils sont issus (closed loop recycling), comme c'est le cas des fibres cellulosiques de récupération dans la fabrication de papiers et cartons ou du calcin dans celle des bouteilles ;
- ✓ L'intégration de matériaux dans d'autres formes de production que celles dont ils sont issus (open-loop recycling), tels les exemples du verre dans les travaux routiers, de la

partie fermentescible des résidus dans l'élaboration de compost ou bien des déchets d'emballage en plastique utilisés dans la fabrication de mobilier ou de piquets de vigne ;

✓ Enfin, la valorisation énergétique des résidus via leur incinération avec récupération de la vapeur dégagée et/ou la production d'électricité [27].

III. 3. RECYCLAGE DES MATERIAUX PLASTIQUES

Si des matériaux tels que l'acier, l'aluminium ou le papier, bénéficient depuis longtemps de filières de recyclage en place, il n'en est pas de même pour les plastiques pour lesquels la question du devenir des déchets a été posée beaucoup plus tard [28].

Les plastiques en fin de vie ont une très mauvaise image de marque du point de vue de l'environnement, d'autant plus qu'ils sont très voyants ; ce qui fait la qualité de ces matériaux lors de leur utilisation pose problème lors de leur rejet. Les plastiques légers flottent dans l'eau, sont rejetés sur les berges et les plages ; ils résistent à l'humidité, aux agents chimiques, à la biodégradation. Ils sont brillants et de couleurs vives et claires.

Une étude sur les cadavres des cétacés a démontré qu'un animal sur trente s'était étouffé à cause des déchets en plastique. Cette pollution est surtout visuelle; les plastiques ont, en effet, dans la plupart des cas un comportement neutre en décharge [28,29].

Mais, le fait que la durée de vie des produits en utilisation est plus courte que la durée de vie effective des matériaux pose donc problème. Il est clair que, pour éviter le gaspillage des ressources naturelles (les matières plastiques étant essentiellement produites à partir du pétrole) et préserver l'environnement, le plastique, comme les autres matériaux, doit être recyclé.

III. 3. 1. Les matières plastiques

Il existe une quantité infinie de produits en plastique : à l'hôpital, à la maison, à l'épicerie, à l'usine, (Tableau III. 2) etc. Il y en a des flexibles, des rigides et un univers infini de produits plastiques. Il existe plusieurs produits, mais aussi plusieurs types de résines de plastique. L'arbre généalogique de votre stylo à bille comprend ainsi différentes familles de plastique.

On crée toujours de plus en plus de mélanges un peu plus difficiles à recycler que l'industrie développe par souci de compétitivité. Au départ tous les plastiques sont fabriqués à partir de pétrole et de gaz naturel. Le pétrole est raffiné, distillé, la fraction d'essences légères ou "naphta" est isolée puis craquée (distillée) à la vapeur, ce qui permet d'obtenir des molécules chimiques de base : les monomères (éthylène, propylène, etc.) constitués d'atomes de carbone, d'hydrogène, d'oxygène ainsi que d'autres constituants.

Les molécules sont assemblées entre elles sous forme de chaînes, linéaires ou en réseau, qu'on appelle les polymères. D'autres éléments interviennent dans la composition des polymères, pour donner des caractéristiques spécifiques au produit tels que l'ajout de chlore, d'azote, etc.

III. 3. 2. Transformations

Les techniques de la plasturgie sont variées et souvent spécifiques à un type particulier de plastique. Néanmoins, on peut citer les grandes méthodes de transformation : extrusion, extrusion-soufflage, injection sous pression, moulage, etc.

L'extrusion dans un cylindre chauffé, une vis pousse la masse à mouler vers l'avant, la compression la ramollit et l'homogénéise. A la sortie du cylindre, la masse plastifiée prend la forme désirée (granules).

On peut aussi combiner l'extrusion avec le soufflage; ainsi, à la sortie du cylindre, la matière est collée contre les parois d'un moule, ce qui permet de fabriquer des corps creux à des cadences de production très élevées.

Le moulage par compression, par injection ou par trempage (pour la fabrication d'objets minces ou de films plastiques utilisés pour les sacs et les couvertures agricoles), etc. [29].








Code	Nom	Utilisation courante	Exemple de produits à contenu recyclé
	Polyéthylène téréphtalate (PÉT)	Bouteilles de boissons gazeuses et autres contenants alimentaires.	Vêtements de polar, tapis, chemises à manches courtes, montres, souliers de course
	Polyéthylène haute densité (PE-HD)	Bouteilles d'eau de javel et de shampoing, récipients de crème glacée et contenants de lait ou de jus, sacs à emporter.	Bacs de récupération, Bouteilles de shampoing ou d'huile à moteur, mobilier urbain (bancs de parc, tables à pique-nique).
	Polychlorure de vinyle (PVC)	Matériaux de construction, stores verticaux, boyaux d'arrosage	Revêtement, tuyaux, cônes de circulation, tuiles à plancher
	Polyéthylène basse densité (PE-LD)	Sacs à ordures, à épicerie, à sandwich, pellicule extensible	Nouveaux sacs d'épicerie et de magasinage, plastibois
	Polypropylène (PP)	Bouchons et couvercles, pots de yogourt et de margarine.	Brosses à cheveux, coquilles de batteries, balais, palettes, pièces d'automobile, caisses à lait
	Polystyrène (PS)	Expansé (styromousse) : Verres à café, plateaux pour viandes et poissons, matériel d'isolation. Non expansé : Ustensiles, verres de bière, petits contenants de lait et de crème pour le café.	Règles et autres fournitures de bureau, boîtiers pour disques compacts et cassettes vidéo, plateaux de table, isolant
	Autres : variété de résines, matériaux multicouches	Bouteilles d'eau de 18 litres réutilisables, bouteilles de ketchup.	Mobilier urbain (plastibois) : bancs de parc, tables à pique-nique, clôtures.

Tableau III. 2. Les principales résines et leurs utilisations les plus courantes [30]

III. 4. POLYPROPYLENE

III. 4. 1. Historique :

Le polypropylène PP à structure cristalline régulière. Natta emploie le terme "isotactique" pour décrire ce polymère. Les chaînes d'un polymère isotactique peuvent se rapprocher les unes des autres pour former un solide ordonné. Plus tard, il mettra au point des catalyseurs stéréospécifiques permettant l'obtention systématique de tels polymères.

Le polypropylène atactique (PPa), matériau amorphe affichant une faible résistance mécanique, présente peu d'intérêt industriel. Le polypropylène commercial le plus courant est l'PPi. Le polypropène syndiotactique (PPs), industrialisé à partir de 1992, tend à se développer. Cette matière, différente de l'PPi, peut être obtenue en utilisant des systèmes à base de métallocènes [31].

III. 4. 2. Présentation du polypropylène

Le polypropylène est un polymère organométallique de Ziegler-Natta et à partir réaction de polymérisation par addition [18].

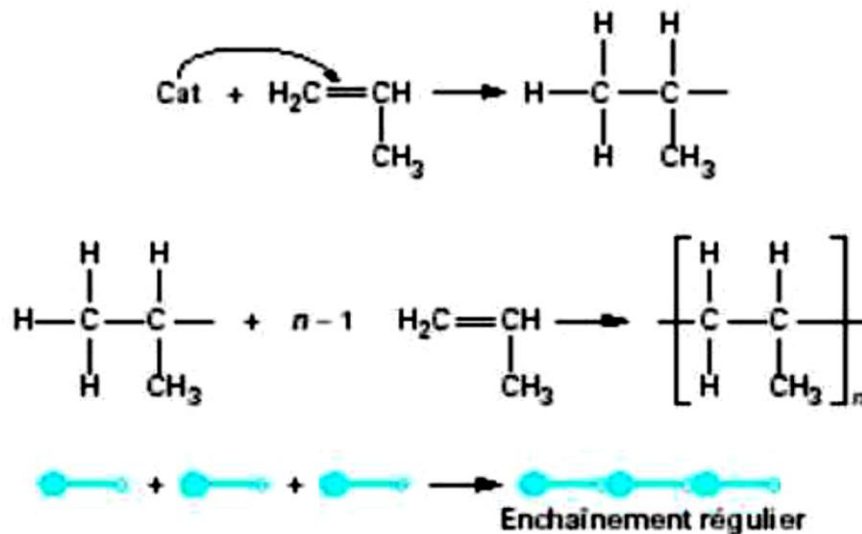


Figure III. 1. Schéma représentatif de la réaction de polymérisation du propylène [18]

III. 4. 3. Propriétés du polypropylène :

Propriétés	Unités	Valeurs
PROPRIETES PHYSIQUES		
Densité	g/cm³	0,91
Absorption d'eau à 23 °C HR 50 %	%	0,02
Dureté	Echelle D	73-100
Résilience	KJ/m²	SR 10
Allongement à la rupture	%	650
Résistance à la traction	N/mm²	21-37
Module d'élasticité en traction	N/mm²	1300
Etat à 20°C	-	Très dur
PROPRIETES THERMIQUES		
T° d'utilisation en continu	°C	-30/+100
T° maxi d'utilisation temporaire	°C	140
Point de Fusion	°C	180
Coefficient de dilatation thermique linéaire	10-5 mm/°C	15
T° de déformation sous charge 1,85 N/mm ²	°C	65
Conductivité thermique	W/°C.m	0.22
Classement au feu	-	HB
PROPRIETES ELECTRIQUES		
Rigidité diélectrique	KV/mm	80
Résistivité transversale	Q/cm	10¹⁸
Constante diélectrique 10 ³ HZ	-	-
Tangente angle perte 10 ³ Hz 10exp6 HZ	-	-
PROPRIETES CHIMIQUES		
Résistance	Acides, alcalis, solutions salées, solvants, alcools, benzine, eau, huiles, graisses, détergents, jus de fruits, lait.	
Non-résistance	Acides oxydants, hydrocarbures aromatiques, xylol, éviter le contact avec le cuivre	

Tableau III. 3 . Propriétés du polypropylène [32]

III. 4. 4. Recyclage du PP

Le succès du polypropylène est dû à la versatilité de ses propriétés qui entraîne une diversité d'utilisation. D'ailleurs le polypropylène est utilisé pour les moulages industriels et automobiles, les tuyaux, les grands et petits conteneurs comme les emballages des produits chimiques qu'ils soient domestiques ou autres, les caisses de batterie d'automobiles, etc... Il peut être noté ici que ces utilisations et la réutilisation dans le même produit ne présentent aucun problème sanitaire.

L'effet des recyclages multiples sur les propriétés du polypropylène est aux contraintes thermomécaniques subies lors de leur mise en forme, les polymères ont tendance à se dégrader.

Le polypropylène subit principalement des coupures de chaînes. Cette dégradation entraîne une modification des propriétés mécaniques et rhéologiques du recyclât [31].

III. 5. LE JUTE

III. 5. 1. Fibres de Jute

La fibre de jute est obtenue à partir de deux plantes herbacées, *Corchorus blanche capsularis* (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.

La plante de jute pousse six à dix pieds de hauteur et n'a pas de succursales. La tige de la plante est couverte avec une épaisse écorce contenant les fibres de jute. Dans deux ou trois mois, les plantes grandissent et sont ensuite coupées, attachés en paquets et maintenus sous l'eau pendant plusieurs jours pour la fermentation. Ainsi, les tiges pourrissent et les fibres de l'écorce se détachent. Puis les cultivateurs retirent les fibres de l'écorce, les lavent très soigneusement et les laissent sécher sous le soleil. [33].

III. 5. 2. Structure et composition chimique du jute

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 constituée 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 β -1, 4-glucosidiques liaisons [27]. 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).

La coupe transversale de la fibre de jute est polygonale ou ovale avec une lumière comme indiquée dans la figure III. 3. La structure de la fibre de jute est influencée par les conditions climatiques, l'âge et le processus de fermentation, qui influencent aussi la composition chimique (tableau III. 2) [34].

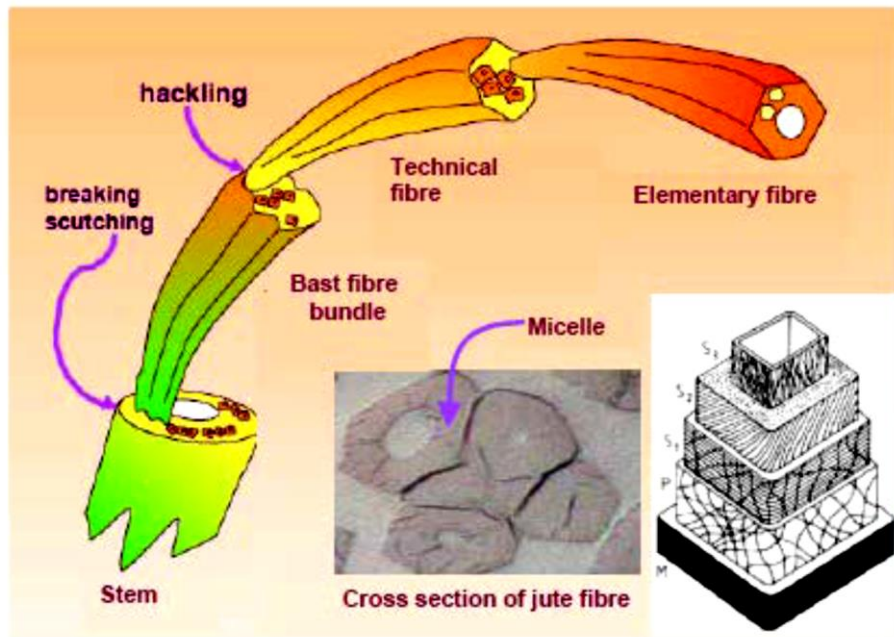


Figure III. 3. Structure de fibre de jute [35]

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. 4. Composition chimique de la fibre de jute [35]

III. 5. 3. Caractéristiques mécaniques

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 [34].

Le Tableau III. 5 représente les résistances à la traction et déformation totale des tissus, fils et fibres de sacs de jute

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

Tableau. III. 5. Résultat de traction pour quelque type de jute [36]

III. 5. 4. Utilisation du jute

Pendant la révolution industrielle, il a connu un grand essor dans la fabrication de toiles à sacs, se substituant au lin et au chanvre cultivés en Europe. Si les sacs constituent encore de nos jours la majeure partie des produits manufacturés en jute, un grand nombre d'articles novateurs à haute valeur ajoutée ont vu le jour : revêtements pour sols, composants, géotextiles, non-tissés, pâte à papier, textiles techniques, produits chimiques, tissus d'habillement, artisanat et accessoires de mode.

III. 5. 5. 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 un 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, recyclé les plastiques peuvent être utilisés comme matrice pour réduire les coûts environnementaux composites appropriés.

Le recyclage des plastiques principalement en polyéthylène (PE), polypropylène (PP), polychlorure de vinyle (PVC), polyéthylène Terephthalate (PET) et le polystyrène (PS) est une commune pratique dans la plupart des pays. Par conséquent, le plastique à faible coût les déchets sont normalement disponibles pour une matrice éventuelle incorporation de tissu de jute. Ceci, en principe, permettrait de fabriquer des composites avec des coûts inférieurs à ceux des matériaux conventionnel. [36]

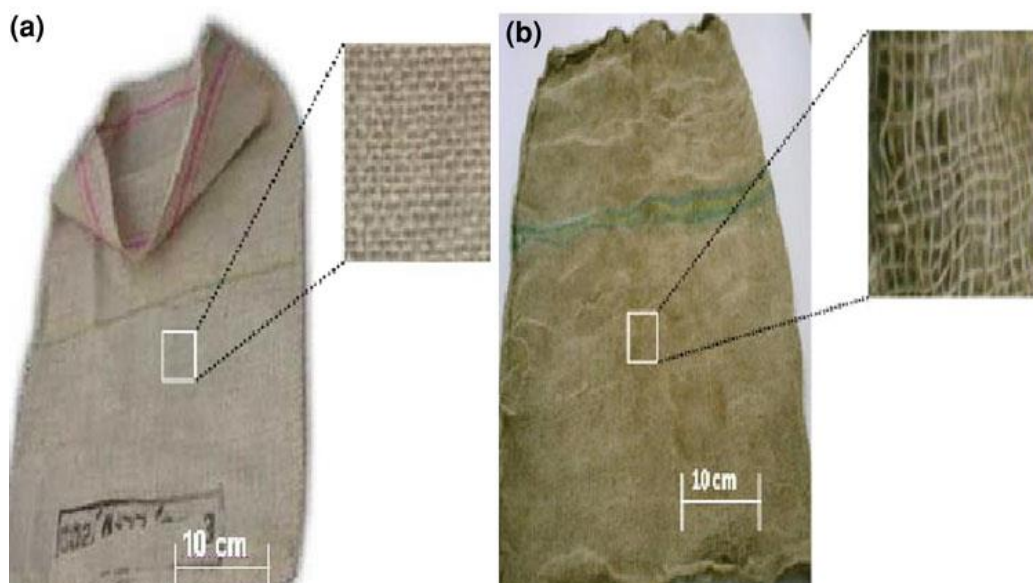


Figure III. 4. Toile de jute un nouveau, mis au rebut après utilisation [36]

CHAPITRE **IV**

*Méthodes &
Techniques
expérimentales*

IV. 1. INTRODUCTION

Une très forte majorité des matériaux utilisés dans l'élaboration de composites sont issus de l'industrie pétrochimique, que ce soit pour les renforts (fibre de verre, fibre de carbone) ou les matrices (thermodurcissables et thermoplastiques). La volonté de ne plus dépendre d'une ressource dont les réserves s'épuisent et dont le prix peut rapidement fluctuer motive l'usage de biomatériaux bio sources.

Dans le contexte actuel, la démarche d'éco-conception des produits amène les industriels à étudier et intégrer les fibres naturelles pour leur légèreté, leur résistance mécanique et leur renouvelable.

La fibre de jute va plus loin sur ces différents plans avec une densité particulièrement faible, et une production plus durable. Grâce à leurs connaissances des filières du jute et de la mise en œuvre des composites.

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.

C'est dans ce sens que s'oriente notre contribution. Le but de notre travail est de participer à généraliser l'éco-conception des matériaux composites. Pour cela nous avons opté à l'utilisation de tissu de jute récupéré à partir de sacs d'emballage. Nous l'avons utilisé comme renfort d'une matrice thermoplastique recyclable qui est le polypropylène.

Le jute utilisé est sous forme de trois textures, avant d'élaborer les composites tissus de jute /PP, et comparer entre leurs caractéristiques mécaniques, nous avons élaborer un matériau composite en fonction de la fraction massique afin d'avoir la meilleure fraction qui nous donne les meilleures propriétés mécaniques.

IV. 2. MATERIAUX UTILISE

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

- Le polypropylène comme matrice, il est utilisé sous forme de film (Figure .IV.1). Le plastique PP (sous forme de film) nous a été fourni par 'Textiles Divers Algerie' BEJAIA, il est destiné à la fabrication de corde et de ficelle ainsi de sacs d'emballage.
- Le tissu de Jute utilisé dans notre étude se présente se forme de sacs d'emballage qui est récupérés à partir de sacs (Figure. IV. 2) destinés à l'emballage de produits alimentaires tels que café, cumin,...ect. C'est des sacs que nous avons récupéré sur le marché



Figure IV.1. Film de plastique en polypropylène PP



Figure IV. 2. Sacs de Jute

IV. 2. 1. Matrice de polypropylène

Le polypropylène est une matière plastique formé de chaîne linéaire constitué de motifs propylènes dans le cas d'un homopolymère et d'une altération contrôlée de motifs propylènes et éthylène dans les copolymères [26]; la chaîne polypropylène (PP) permet une cristallisation segmentée et un couplage par cohésion entre la fibre modifiée et la matrice PP.

Il caractérisée par [21].

- | | |
|---------------------------------|----------------------|
| ✓ Bonne stabilité thermique. | ✓ Ecologique. |
| ✓ Faible densité. | ✓ Rigide et durable. |
| ✓ Légèreté. | ✓ Imperméable. |
| ✓ Chimiquement inerte. | ✓ 100% recyclable. |
| ✓ Résistance haute température. | |

Les propriétés du polypropylène sont représentées par le (Tableau IV. 1).

Densité	0,905 g/cm ³
Température de fusion	165 – 170 °C
Module élastique	1,0 – 1,4 GPa
Limite d'élasticité	25 – 38 MPa
Déformation à la rupture	300 (%)
Coefficient de dilatation	175. 10 ⁻⁶ °C
Température de mise œuvre	190 – 285 °C

Tableau IV.1 : Caractéristiques du polypropylène [37]

IV. 2. 2. Fibres de Jute

La plante de Jute est cultivée au Bangladesh et en Inde, c'est une plante des régions tropicales appartenant à la famille des liliacées. La tige peut atteindre une hauteur de 4 à 6 m avec un diamètre d'environ 3 cm. La fibre ultime est très courte et très lignifiée [38].

IV. 3. ÉTUDE STRUCTURALE DE LA FIBRE VÉGÉTALE JUTE

IV. 3. 1. Analyse spectroscopique par infrarouge à transformé de Fourier :

La spectrométrie Infrarouge à transformée de Fourier (en anglais : Fourier Transform Infra redspectro-scropy FTIR) est une technique efficace qui va nous permettre d'analyser les propriétés chimiques et structurales de différentes fibres végétales (Figure IV.3). Cette technique est basée sur le fait que les molécules possèdent des fréquences spécifiques pour lesquelles elles vibrent (ou tournent) en correspondance avec des niveaux d'énergies appelés : modes vibratoires. Ici la radiation incidente est de type infrarouge. Pour cette technique particulière (à transformée de Fourier), la lumière infrarouge, après avoir rencontré l'échantillon, passe au travers d'un interféromètre de Michelson (et non pas un monochromateur) constitué d'une séparatrice de faisceaux, d'un miroir fixe et d'un miroir mobile. Le signal enregistré s'appelle inter-férogramme, il subit une transformée de Fourier pour être finalement tracé et devient un spectre [38].

La technique spectroscopique ATR- FTIR est l'une des méthodes les plus utilisées pour l'analyse qualitative et quantitative des matières organiques [39].

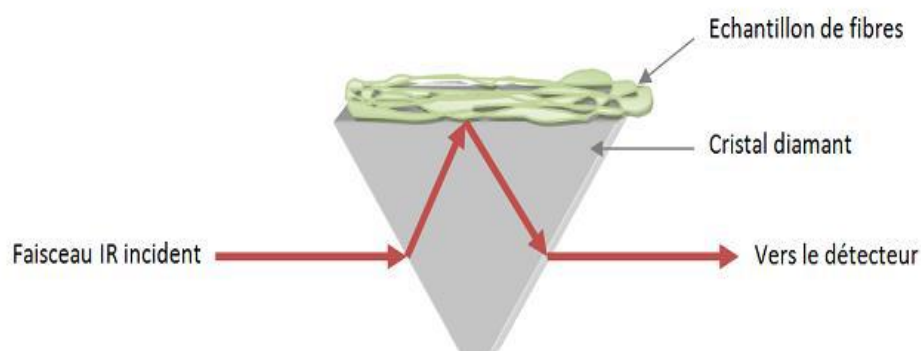


Figure IV. 3. Schéma de principe de la spectrométrie FTIR-ATR sur des échantillons fibreux.

L'appareil utilisé dans notre travail pour l'analyse spectrométrie FTIR est de marque *Perkin Elmer* (Figure IV. 4). Les spectres infrarouges ont tous été accumulés avec 32 balayages à la résolution de 4 cm^{-1} entre 400 cm^{-1} et 4000 cm^{-1} . Les analyses FTIR ont été faites dans laboratoire de physico-chimie des hauts polymères au département de génie des procédés, faculté des sciences de l'ingénieur, Université Farhat Abbas, Sétif.



Figure IV. 4. Photo d'un appareil d'analyse ATR-FTIR.

IV.3.2. Analyse thermogravimétrique (ATG)

L'analyse thermogravimétrique a été utilisée pour étudier la stabilité thermique et la vitesse de décomposition que subit un échantillon au cours d'un traitement thermique en fonction de la température. Généralement, les procédés de fabrication de composites à matrice thermoplastique renforcées par des fibres naturelles sont souvent mis en œuvre à des températures élevées. Voilà pourquoi il est important d'évaluer le comportement thermique de

fibres naturelles dans différentes températures afin de : déterminer les meilleures conditions possibles pour la mise en œuvre des composites, et d'éviter la dégradation des propriétés de ces fibres. Plusieurs chercheurs ont signalé la décomposition thermique des composants principaux de fibres végétales, on cite : cellulose (240 – 350°C), hémicellulose (200 – 260 °C) et lignine (280 – 500°C). Parmi ces trois composantes, l'hémicellulose est le responsable sur la dégradation thermique, tandis que, le faible taux de lignine conduit à une meilleure performance thermique de son composite [39]

L'analyse thermogravimétrique est effectuée en utilisant l'appareil *SDT Q600 V20.9 Build 20* (Figure IV. 5) à l'unité de recherche des matériaux émergents -université Ferhat ABBAS, Sétif-, avec les conditions suivant la température est de 25 à 600 C sous Nitrogène N₂ avec la vitesse de 10 C/min.



Figure IV. 5. Photo d'un appareille d'analyse ATG et DTG.

Pour ses analyses (ATG/DTG et FTIR), nous avons besoin de poudre de jute. Pour cela, nous avons broyée les tissus de jute avec un broyeur planétaire au laboratoire de génie civil (université de m'sila) (figure IV. 6).



Figure. IV. 6. Broyeur planétaire

IV. 4. ELABORATION DU COMPOSITE JUTE/PP

Notre travail est réalisé en deux parties, la première est d'élaborer le composite jute / PP en variant la fraction massique du renfort. Après la caractérisation de ses composites, vient la deuxième partie qui est l'élaboration des composites avec différentes textures de jute en choisissant la meilleure fraction du renfort qui nous donne les meilleures caractéristiques mécaniques.

La mise en œuvre du matériau est effectuée au sein du laboratoire de 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. *Découpage des constituants*

Nous avons découpé le film de PP et des différents sacs de jute manuellement avec un ciseau selon les dimensions du moule (18 X 25 Cm²) (Figure IV. 7).

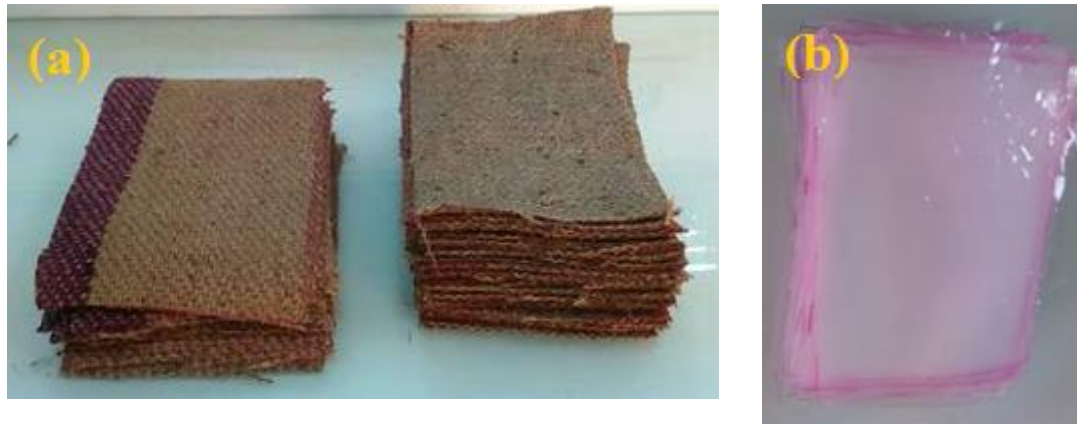


Figure IV. 7. Matériaux utilisés

a) Jute b) Plastique PP

2. *Pressage des renforts :*

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 IV. 8). 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.

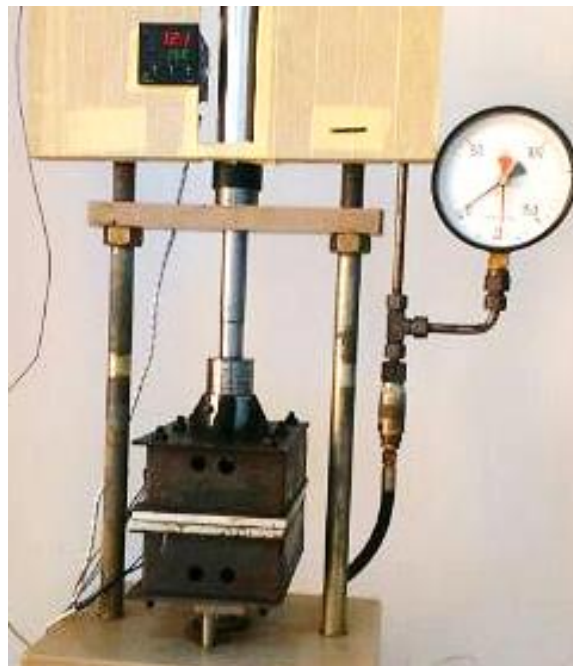


Figure IV. 8. Pressage des tissus de Jute

3. Elaboration des composites

Première étape : choix de la fraction optimale du renfort :

Afin de déterminer la fraction massique optimal, nous avons préparé des échantillons du bio-composite avec différentes fractions selon l'équation suivante [40]:

$$W_f = \frac{w_j}{w_m + w_j} \quad (1)$$

$$w_m = \frac{w_j(1 - W_f)}{W_f} \quad (2)$$

W_f , w_j et w_m sont respectivement la fraction massique du tissu, la masse du tissu de jute et la masse de la matrice PP.

Nous avons élaboré six bio-composites avec différentes fractions massiques, nous avons pris la même masse du renfort, et selon la fraction utilisée, nous avons calculé la masse de la matrice. Le Tableau IV.1 suivant représente les calculs faits :

N°	Désignation	W_f (%)	w_j (g)	w_m (g)
01	Bio-Com 30%	30	44.666	104.22
02	Bio-Com 40%	40	44.666	66.99
03	Bio-Com 45%	45	44.666	54.59
04	Bio-Com 50%	50	44.666	44.666
05	Bio-Com 60%	60	44.666	29.77
06	Bio-Com 70%	70	44.666	19.14

Tableau IV. 2. Quelques caractéristiques et Résultats de calcul w_m

Pour le moulage des composites, nous utilisons une presse chauffante. Elle est constituée de deux plaques dont les températures sont asservies par un régulateur et ajustées.

Nous superposons les plis découpés du jute et de PP de façons à assurer une bonne distribution de renfort et de matrice. Ensuite nous mettons les couches dans un moule. Ce dernier est ensuite couvert d'un couvercle. Une fois le moule rempli et couvert, il est placé sur la plaque inférieure de la presse chauffante. La plaque supérieure est ensuite descendue lentement jusqu'à fermeture et maintenue en pression de 40 bar jusqu'à une température de 200 °C avec un temps de maintien à cette température de 10 minutes

Ensuite, le moule est retiré de la presse puis refroidi avant démontage et extraction de la plaque du composite (Figure IV. 9).

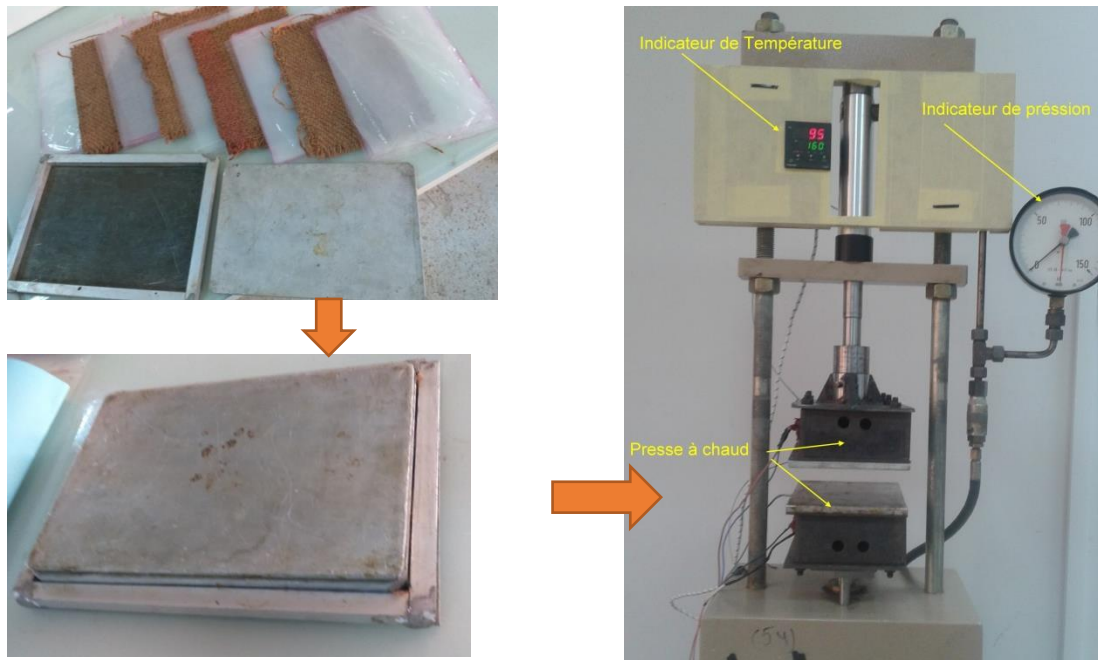


Figure IV.9. Elaboration du plaque de bio composite



Figure IV.10. La plaque obtenue

Deuxième étape : Comparaison des paramètres des plaques en fonction de l'architecture du tissu :

Après la caractérisation du composite élaboré en variant la fraction massique du renfort, nous avons élaboré trois types de composites à différentes architectures du tissu de Jute recyclés (Tableau IV. 2). La fraction massique utilisée dans cette partie et la fraction optimale déterminée lors de la première partie.

Cette partie de notre travail consiste à utiliser différentes textures du tissu de jute, nous avons utilisé les sacs de Jute sous forme de trois types de tissage.




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

Tableau IV. 3. Caractéristiques des tissus de Jute utilisés

L'élaboration des bio-composites (Figure IV. 11) s'effectue selon les mêmes étapes déjà cité auparavant. Nous avons désigné les composites par (Bio-Com A, Bio-Com B et Bio-Com C) selon les différents tissages.



Figure IV.11. Les plaques de bio composite obtenues

IV. 5. METHODES DE CARACTERISATIONS DU COMPOSITE

1. Eprouvettes

Dans cette étude, deux types d'éprouvettes sont mis à l'épreuve, des haltères selon la norme ASTM D638-03 (Figure IV. 12) pour des essais de traction, et des éprouvettes parallélépipédiques pour des essais de flexion trois points (Figure IV. 13).

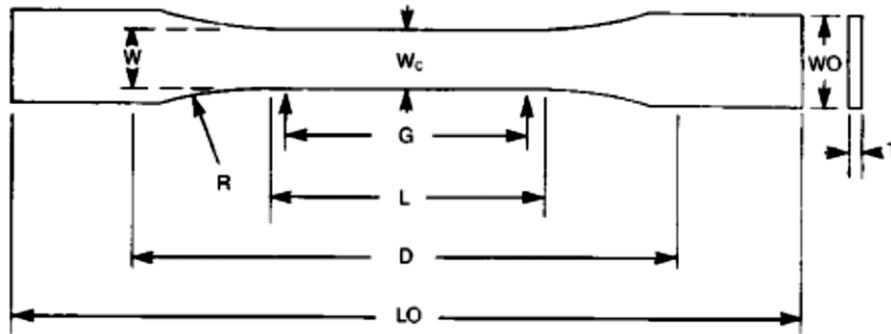


Figure IV.12. Éprouvette de traction

$W = 13 \text{ mm}$
 $L = 57 \text{ mm}$
 $W_0 = 19 \text{ mm}$
 $L_0 = 165 \text{ mm}$

$G = 50 \text{ mm}$
 $D = 115 \text{ mm}$
 $R = 76 \text{ mm}$

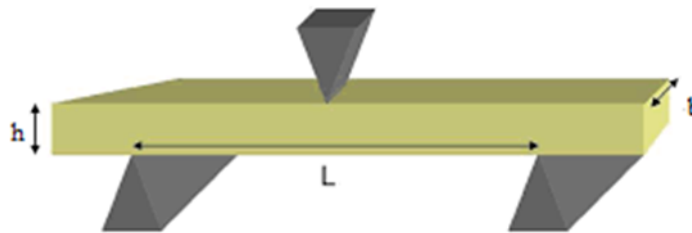


Figure IV.13. Éprouvette de flexion 3 pts

L : longueur entre appuis
 b : largeur de l'éprouvette
 h : épaisseur de l'éprouvette

Les éprouvettes utilisées dans notre étude (Figure IV. 15) sont obtenues à partir des plaques citées précédemment, pour les éprouvettes de flexion sont découpées à l'aide d'une scie, puis nous avons effectué un polissage pour avoir les dimensions finales. Par contre les éprouvettes de traction sont réalisées par usinage sur une machine à commande numérique (Figure IV. 14). Cette technique nous a permis :

- D'avoir des éprouvettes identiques.
- Un gain de temps.
- Une absence de contraintes résiduelles.



Figure IV. 14. Usinage d'éprouvette par CNC

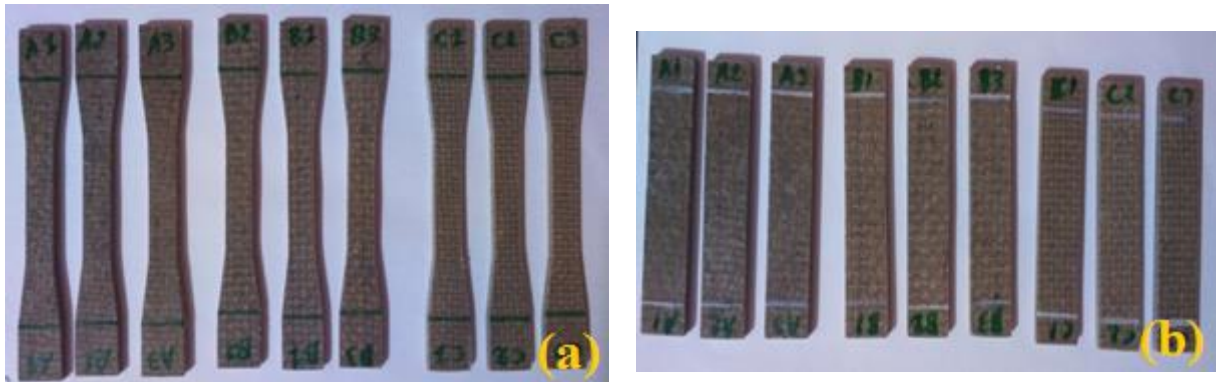


Figure IV. 15. Epreuves élaborées

a) Epreuve de traction

b) Epreuve de flexion

2. Essais mécaniques

Deux types d'essais mécaniques sont effectués sur les différentes éprouvettes afin de caractériser les matériaux étudiés :

- ✓ Essai de traction
- ✓ Essai de flexion trois points

Les essais mécaniques traction, flexion menés sur les différents types d'éprouvettes, sont réalisés à température ambiante sur une machine de traction /compression Zwick- Roell de type Z100 (Figure IV. 16) au niveau du Laboratoire des matériaux non métalliques (LMNM) (Institut d'optique et de mécanique de précision, Université Ferhat Abbas). La machine d'essai est équipée d'une cellule de force de 10900 N et elle est couplée au logiciel d'acquisition. La vitesse de traverse étant constante, fixée dans l'essai de traction à 1 mm/mn et pour l'essai de flexion à 3mm/min.



Figure IV. 16. Machine de traction /compression Zwick- Roell De type z100.

Les éprouvettes sont fixées à la machine par l'intermédiaire d'un dispositif de fixation confectionné notamment pour ce type d'éprouvettes. La chape supérieure étant mobile par contre la chape inférieure est fixée au bâti, (Figure IV. 17). L'ensemble des mécanismes de déformations et d'endommagement qui ont lieu dans nos matériaux.



Figure. IV. 17. Fixation des éprouvettes

a) Traction.

b) Flexion

3. Paramètres étudiés

a) Epreuve de traction

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

- **Contrainte de rupture**

La contrainte de rupture est donnée par la relation (3) [41] :

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (3)$$

Avec : **F** : Force de traction [N]
S : Section rompue (mm²)
σ : Contrainte de rupture (MPa)

• **Module d'Young [41] :**

Le module d'Young est le facteur de proportionnalité entre la contrainte σ et la déformation ε :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (4)$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F \cdot L_0}{S \cdot \Delta L} \quad (5)$$

Avec : **E** : Module d'Young (MPa).
L₀ : Distance entre mors (mm).
S₀ : Surface ou section (mm²).
ε : La déformation de la longueur des éprouvettes.
ΔL : L'allongement des éprouvettes (mm).

b) Eprouvette de flexion

Cet essai permet d'évaluer les propriétés mécaniques en flexion des matériaux étudiés à savoir : la contrainte à rupture (σ_F), le module de flexion (E_F) et la déformation à rupture (ε_F). [42]

La contrainte de flexion peut être calculée en utilisant la formule suivante :

$$\sigma_F = \frac{3FL}{2bh^2} \quad (6)$$

F : effort de flexion

L : longueur entre appuis

b : largeur de l'éprouvette

h : épaisseur de l'éprouvette

Le module de flexion est calculé à partir de la formule suivante :

$$E_F = \frac{L^3 m}{4bh^3} \quad (7)$$

$$m = \frac{\Delta F}{\Delta f} \quad (8)$$

m : La pente de la partie linéaire de la courbe charge déplacement.

f : est le déplacement en mm.

CHAPITRE

V

*Résultats &
discussions*

V. 1. INTRODUCTION

Dans ce chapitre, les résultats des différents tests effectués sont présentés et interprétés. En premier lieu, nous avons présentés l'analyse de chaque renfort utilisé (ATR-FTIR et ATG-DTG). Ensuite, nous traitons la section du meilleur taux de fibres utilisé. 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).

V. 2. ANALYSE STRUCTURALE ATR - FTIR

L'analyse structurale nous permet de voir de près la constitution de fibre de Jute. La technique utilisée dans cette analyse est la Spectroscopie Infra- Rouge à Transformée de Fourier par une Réflexion Totale Atténuée (FTIR-ATR), cette méthode est la plus utilisée pour l'analyse qualitative et quantitative des matières organiques.

La Figure V. 1 montre les spectres ATR – FTIR des tissus ces spectres sont focalisés dans la région spectrale entre 4000 et 400 cm^{-1} .

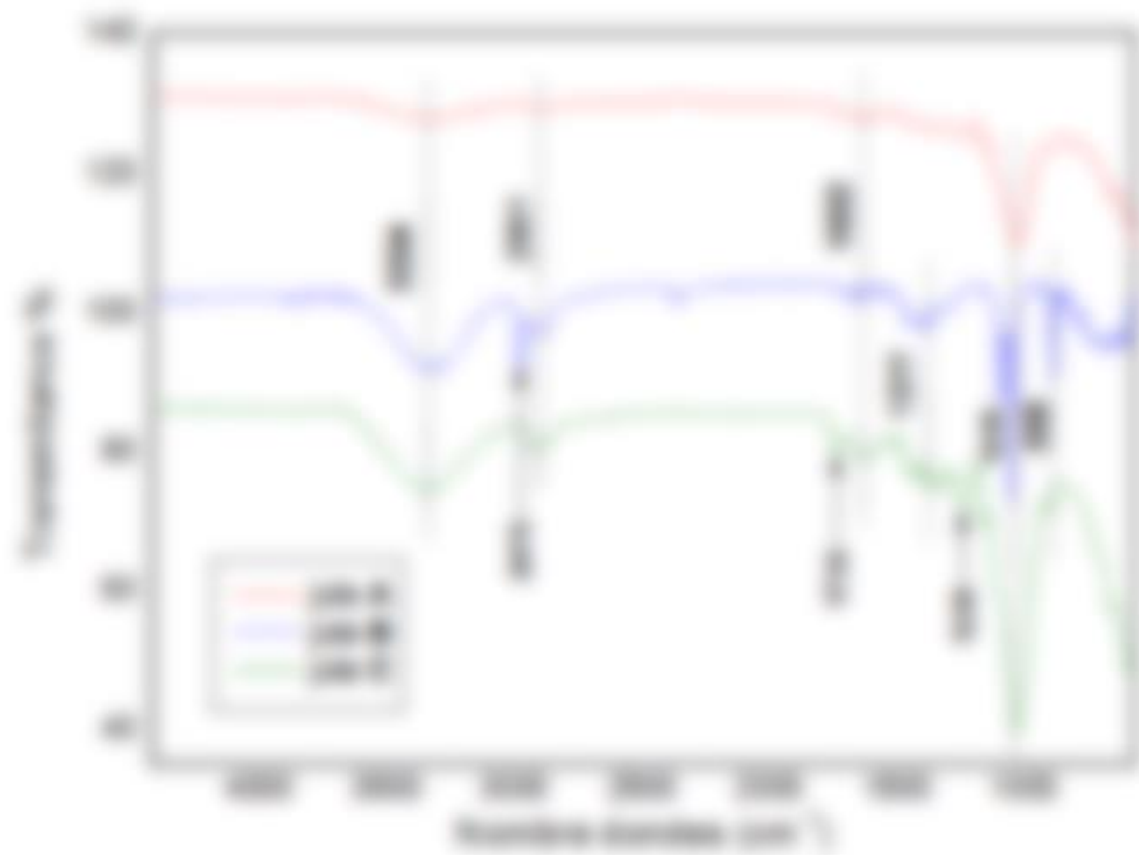


Figure V. 1. Spectres ATR-FTIR des tissus de Jute utilisés

D'après la **Figure V. 1**, plusieurs gammes spectrales d'intérêt doivent être considérées dans cette étude. La bande localisée à 888 cm^{-1} , caractérise la vibration d'étirement C – O – C (la liaison glycosidique β), cette bande est fortement présente dans le jute B, est peu présente dans les deux autres. Dans la gamme de faibles longueurs d'onde, une bande localisée à 1039 cm^{-1} correspond aux modes de vibration d'élongation du groupement C – OH.

Le pic 1239 cm^{-1} localisé au niveau du spectre du Jute C indique les groupes ($--\text{COO}$) d'hémicellulose. D'autres pics à des longueurs d'onde de 1377 cm^{-1} sont associés aux groupes de cellulose (C – H) des Jutes B et C. Le nombre d'onde à 1736 cm^{-1} et 1632 cm^{-1} correspondent aux groupes carbonyle (C = O) de lignine et d'hémicellulose, ces deux pics sont peu présents au niveau du spectre du Jute A. De même pour les pics 2976 et 2901 cm^{-1} qui montrent la présence de la cellulose comme ceux observés, attribués à la vibration d'élongation de la liaison C – H et du groupement CH_2 respectivement. La bande d'absorption, observé autour de 3340 cm^{-1} , est attribué au groupe hydroxyle (-OH).

Généralement la bande qui se situe entre 3100 et 3600 cm^{-1} attribuée au groupement O – H (étirement de la liaison hydroxyle) a fortement augmenté en intensité, d'une part à cause de l'augmentation de la proportion de la cellulose dans les fibres, mais aussi comme conséquence à l'extraction alcaline ceci montre également qu'il reste des résidus de soude sur la surface des fibres. Les affectations des pics d'absorption correspondant aux différents groupes sont résumées dans le **Tableau V. 1** [42].

Nombre d'onde (cm^{-1})	Type de vibration	Source
3200-3600	-OH élongation	Cellulose, hémicellulose
2919, 2845	-CH élongation	Cellulose, hémicellulose
1734	-CO élongation	Lignine, hémicellulose
1648	H-O-H	Eau
1606, 1510, 1425	C=C aromatique, élongation symétrique	Lignine
1367	C-H	Lignine
1240	-COO élongation	Hémicellulose
1163	Déformation anti-symétrique de la liaison C-O-C	Cellulose
1036	C-O-C, O-H élongation	Cellulose
895	Elongation des liaisons β -glucosidique des anneaux de glucose	Polysaccharides

Tableau.V.1. Identification des pics les plus importants des spectres ATR-FTIR.

V. 3. L'ANALYSE THERMOGRAVIMETRIQUE (ATG)

L'analyse thermogravimétrique permet de suivre la variation de la masse d'un échantillon en fonction de la température. Le but essentiel de cette analyse est de mieux connaître le comportement thermique de la fibre de Jute afin de prévoir sa défaillance (dégradation) lors de l'élaboration de nos bio-composites. En revanche, le comportement thermique de la matrice Polypropylène est facilement déduit par la littérature. En résumé, ATG est une technique d'analyse thermique qui consiste à la mesure de la variation de masse d'un échantillon en fonction du temps, pour une température ou un profil de température donné.

La courbe de la **Figure V. 2** représente la superposition des trois types de Jute utilisés dans cette étude. Cette courbe nous permet d'identifier plus clairement la stabilité thermique des tissu Satin, Sergé et Taffetas et les pertes de masse dans chaque intervalle de température 50°C – 650°C. De cette figure, on constate une première zone : entre 50°C – 100°C. Cette première perte de masse correspond à l'évaporation de l'eau. La masse de l'échantillon reste ensuite stable jusqu'à 247°C, puis la dégradation thermique du Jute commence.

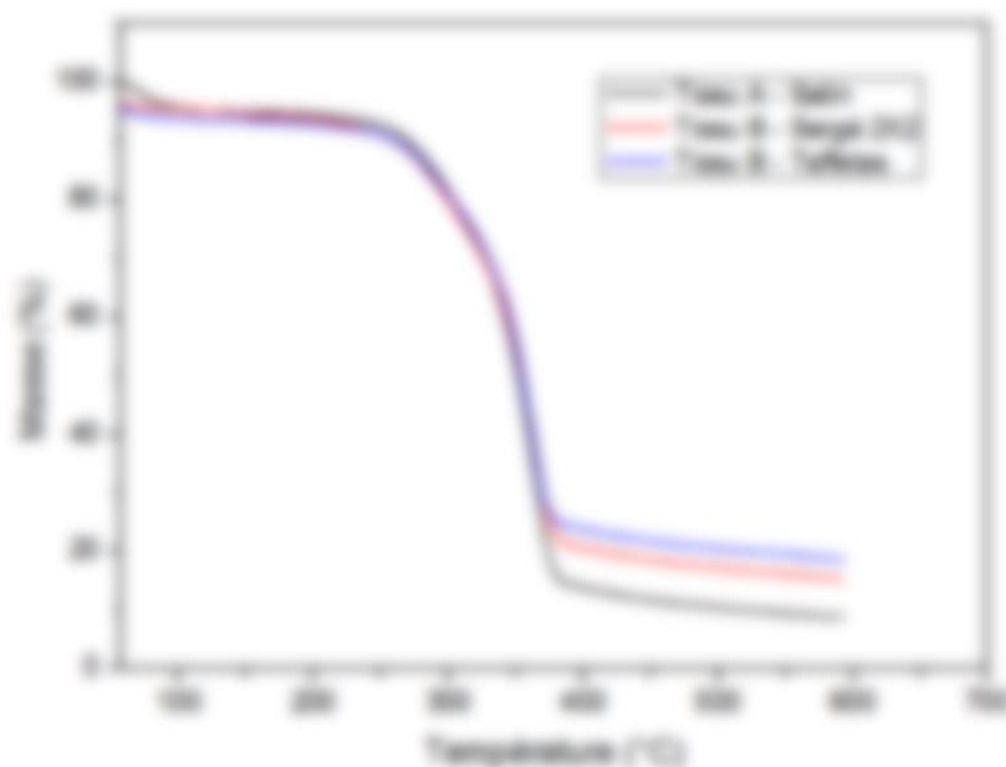


Figure. V.2. Courbes ATG des tissus de Jute utilisés

V. 4. CARACTERISATIONS MECANIKES

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

V. 4. 1. Détermination du meilleur taux de fibre de Jute

Cette partie vise à déterminer le meilleur taux de fibres à utiliser pour l'obtention des performances optimales. Pour cela, des bio-composites à différentes fractions massiques (30%, 40%, 45%, 50%, 60% et 70%) sont élaborés. Les résultats des tests statiques selon la norme ASTM D638-03, des différents matériaux testés sont représentés par la **Figure V. 3**.

Cette Figure illustre les évolutions typiques de la contrainte en fonction de la déformation des éprouvettes de bio-composite PP/Jute sollicitées en traction statique avec différentes fractions massiques déjà citées plus haut. D'après cette, le matériau bio-composite avec la fraction massique 40% (**Bio-Com 40%**) reflète les bonnes performances souhaitées suivi du matériau **Bio-Com 30%**. Alors que le reste des matériaux bio-composites **Bio-Com 45%**, **Bio-Com 50%**, **Bio-Com 60%** et **Bio-Com 70%** montrent un comportement inversement proportionnel aux fractions massiques de fibres de Jute, c.-à-d. chaque fois que la fraction massique du bio-composite augmente la contrainte à la rupture du matériau diminue. Ce comportement est attendu car le taux de fibre augmente considérablement en défavorisant l'adhésion fibre/matrice PP. Il est aussi à signaler que le comportement des bio-composites change d'une façon remarquable. Au première fractions massiques le comportement du matériau est semi-contrôlé cas des bio-composites **Bio-Com 30%**, **Bio-Com 40%**, **Bio-Com 45%** et **Bio-Com 50%**, puis un comportement purement contrôlé **Bio-Com 60%** et **Bio-Com 70%**. Ceci est dû à la mauvaise imprégnation de la fibre de Jute avec la matrice de polypropylène.

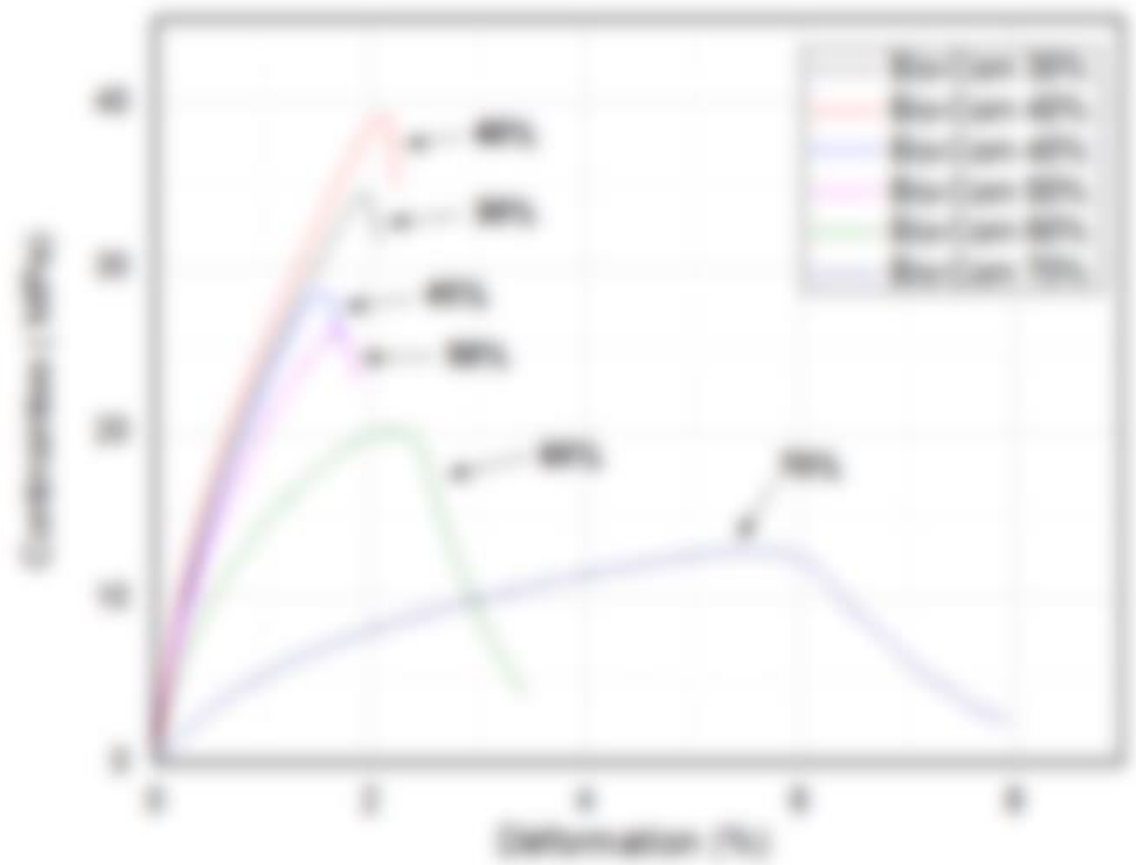


Figure V. 3. Evolution de la contrainte en fonction de la déformation

De plus, l’histogramme de la **Figure V. 4** donne plus de détails sur la sélection du meilleur taux de fibre. Sur cet histogramme, la valeur de la contrainte est maximale pour le **Bio-Com 40%** ($\sigma = 39,07$ MPa). Alors que cette contrainte est nettement supérieure aux contraintes enregistrées pour les autres nuance.

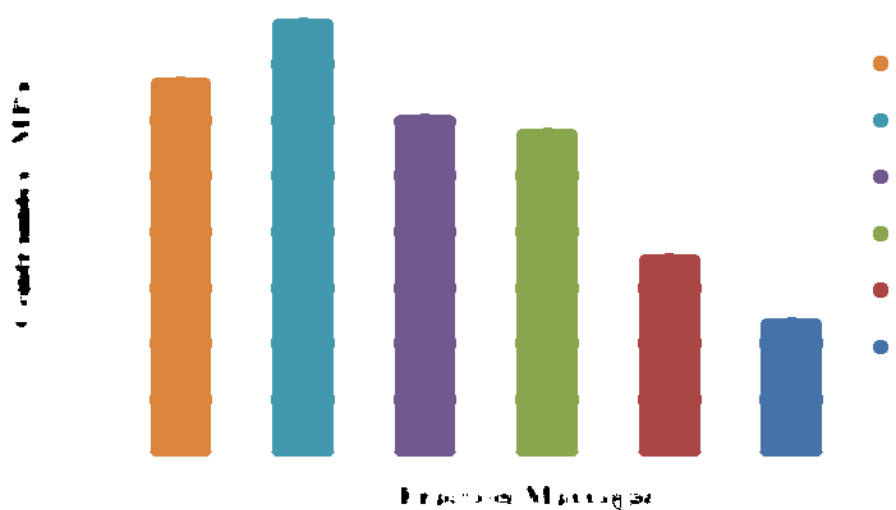


Figure V.4. Evolution des contraintes des bio-composites.

Un autre paramètre comparatif qui peut être pris en compte aussi, il s’agit du module d’Young. L’histogramme de la **Figure V .5** représente les valeurs du module de rigidité pour les différents bio composites.

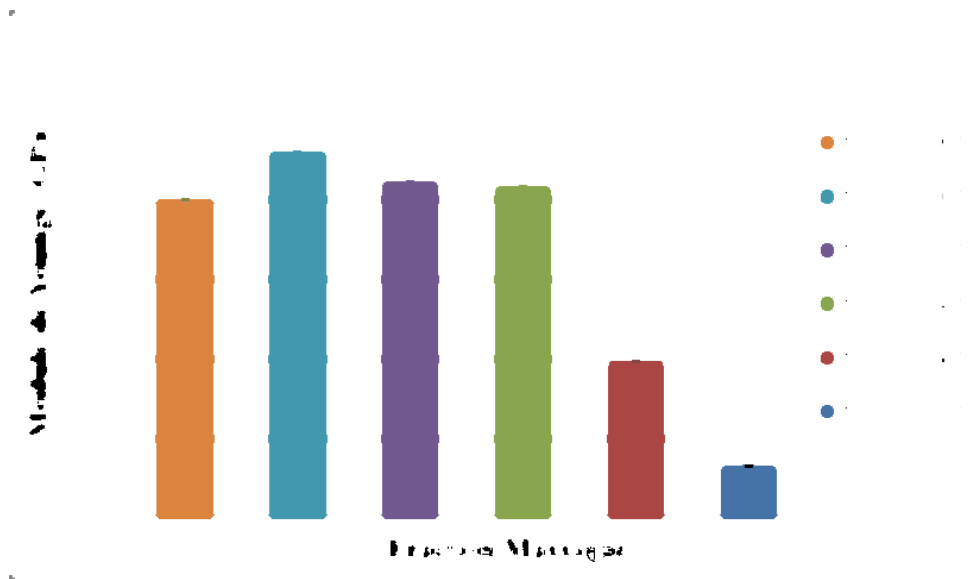


Figure. V.5. Evolution des modules de Young des bio-composites.

Il est clair que le matériau (**Bio-Com 40%**) montre la rigidité la plus élevée ($E= 4,60$ GPa), suivi par les deux matériaux (**Bio-Com 45%**) et (**Bio-Com 50%**) Avec un module de ($E=4,23$ GPa) et ($E= 4,17$ GPa) respectivement. Alors que nous notons que le matériau (**Bio-Com 30%**) a montré une valeur inférieure à celle des bio-composites mentionnés précédemment.

En conclusion, le matériau **Bio-Com 40%** a enregistré les bonnes performances soit du côté résistance ou bien de rigidité ; D’où : la fraction massique de **40%** de taux de fibres est prise lors de l’étude de l’effet du type de tissage sur le comportement de tels bio-composites.

Le **Tableau V.2** représenté les résultats de traction obtenus après les tests de traction des bio-composites de différentes fractions massiques

Composites	E (GPa)	Cont Max (Mpa)	Déf Max (%)
Bio-Com 70%	0,67	12,21	5,8
Bio-Com 60%	1,97	17,97	2,65
Bio-Com 50%	4,17	29,18	1,7
Bio-Com 45%	4,23	30,48	1,55
Bio-Com 40%	4,60	39,07	2,1
Bio-Com 30%	3,99	33,85	1,75

Tableau V.2. Résumé des résultats obtenus en traction

V. 4. 2. Comparaison des bio-composites à renfort de différents tissages

V. 4. 2. 1. Propriétés mécaniques en 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 PP renforcés de jute dépend de la force des deux les constituants et l'adhérence entre le jute fibres et PP matrice. Cette partie vise à déterminer les performances mécaniques des composites avec différents tissages comme renfort. 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 [44]. Les résultats des tests statiques selon la norme ASTM D638-03, des différents matériaux testés sont représentés par la **Figure. 6**. Cette Figure illustre les évolutions typiques de la charge en fonction du déplacement des éprouvettes de bio-composite PP/Jute sollicitées en traction statique avec différents tissages comme renfort.

D'après cette figure, les trois types de biomatériaux ont un comportement semi-contrôlé. Le matériau bio-composite obtenu par le **Tissu B** et **PP** (reflète les bonnes performances souhaitées . Les deux derniers matériaux ont presque le même niveau de charge mais les déplacements à la rupture sont différents, respectivement $\Delta L = 0,78$ mm et $\Delta L = 1,08$ mm. Cette différence se traduit par la structure architecturale des deux tissus.

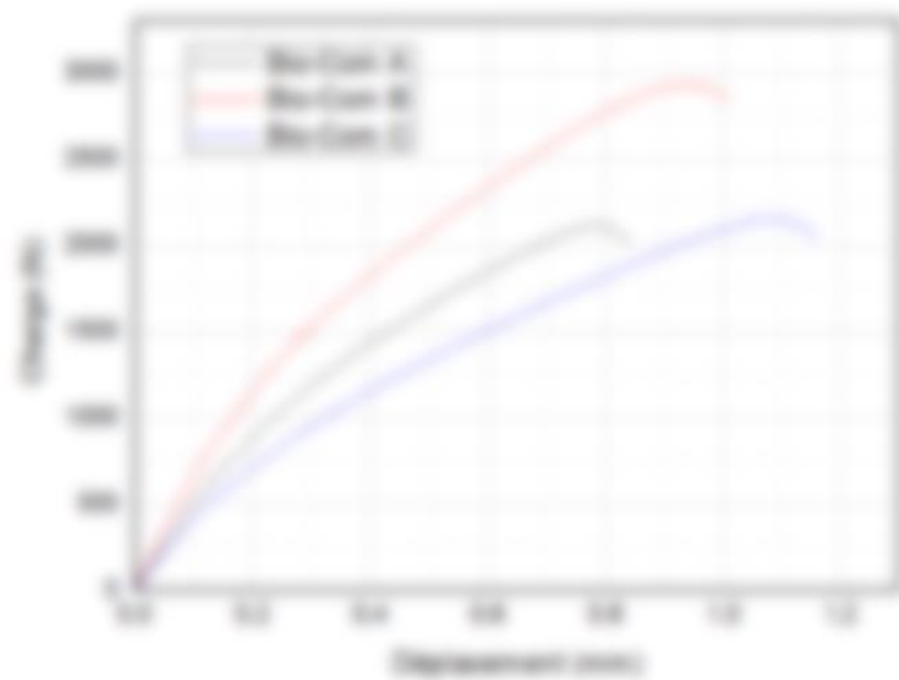


Figure V. 6. Courbe charge – déplacement des différents bio-composites

V. 4. 2. 2. Paramètres de rupture en traction

• **Contrainte à la rupture** : L'histogramme de la (Figure V. 7) représente les valeurs de la contrainte des différents matériaux bio-composites obtenues. On observe à partir de la Figure V. 7 que parmi les trois bio-composites, le composite de tissus à structure en **sergé** présentait une résistance à la rupture la plus élevée soit 23% de plus que celle des deux autres tissus. Alors que les deux autres matériaux ont enregistré comme suit : **Bio-Com C** et le matériau **Bio-Com A** Cette différence peut se traduire par la morphologie structurale du tissu **Sergé** (**Bio-Com B**). Donc la structure **Sergé 2X2** est conseillée quand la résistance à la traction est la principale préoccupation.

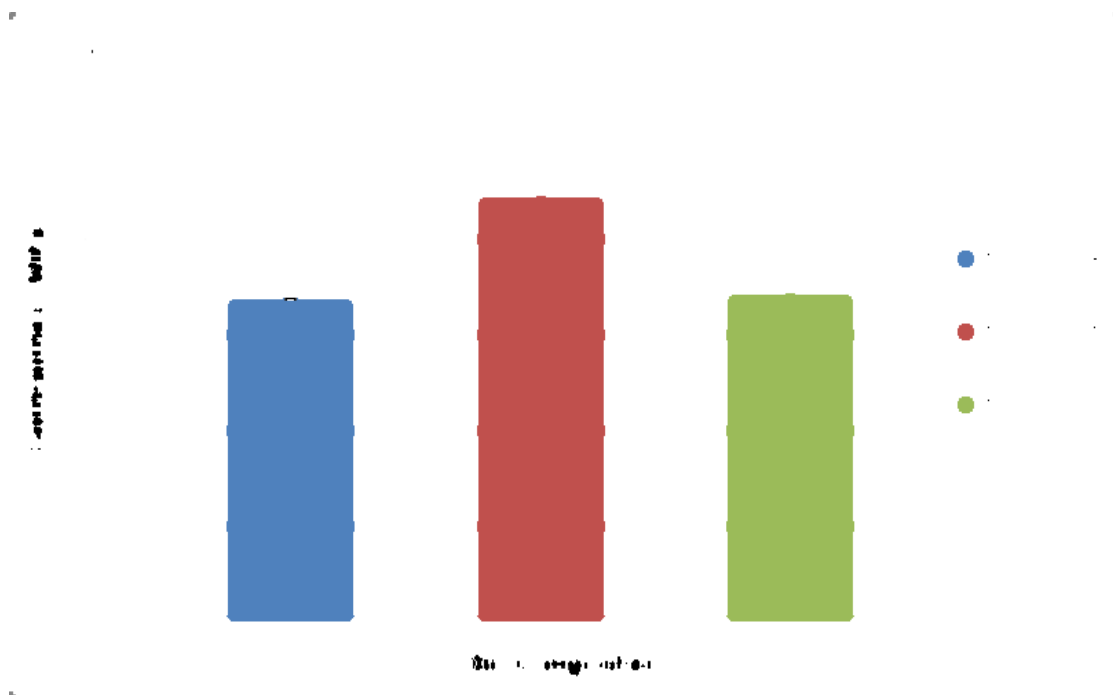


Figure V.7. Evolution des contraintes des bio-composites.

• **Module de Young** : En outre, le module de traction de bio-composites à **Sergé 2X2** (**Bio-Com B**), avait la valeur plus élevée, que ceux des deux bio-composites. le matériau montre une bonne rigidité comparé aux deux autres matériaux. L'histogramme de la (Figure V. 8) représente les valeurs de module d'Young des différents matériaux bio-composites obtenues à partir des tests de différents tissage. La structure de tissu **Sergi 2X2** a 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 C** Il est à signaler que la nature de tissage du matériau **Bio-Com B** a permis l'enregistrement de tel module de rigidité. Cela pourrait être attribué à la meilleure dispersion des tissus de **Sergé 2X2** dans le Matrice PP [43].

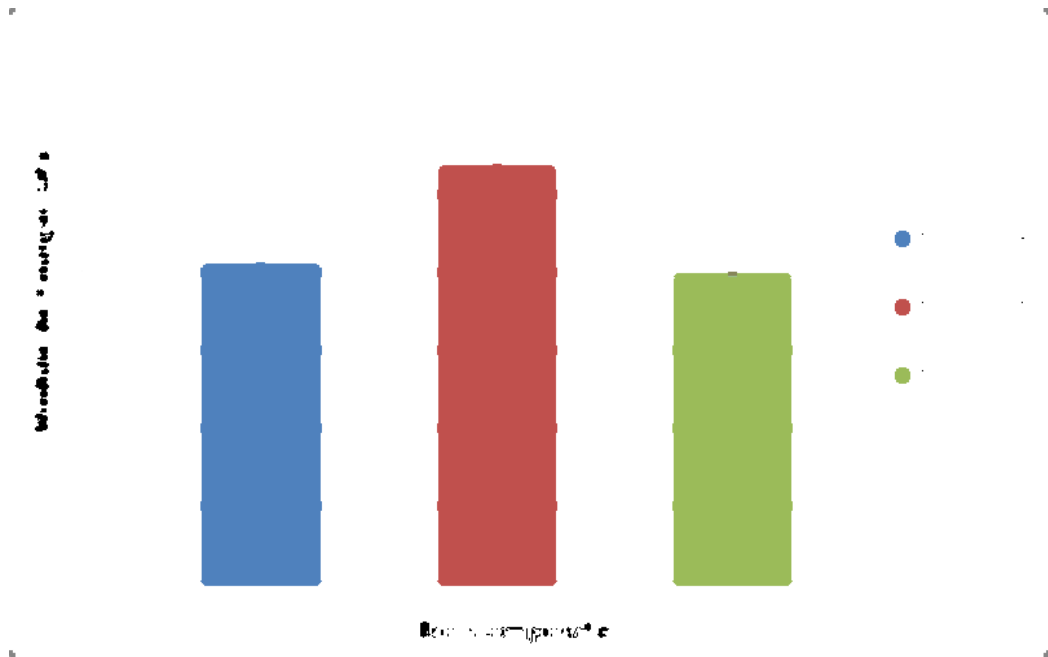


Figure V.8. Evolution des modules de Young des bio-composites.

• **Déformations à la rupture** : D'autre part, les déformations à la rupture des bio-composites sont présentées par l'histogramme de la **Figure V. 9**. De cette figure, nous déduisons que l'allongement à la rupture du composite ayant la structure tissu Taffetas (cas du matériau **Bio-Com C**) était significativement plus élevé que ceux des autres bio-composites ($\epsilon=2\%$). Ainsi, il pourrait être dit que cette structure (**Tissu C**) était avantageuse pour l'amélioration de l'allongement à la rupture. De plus, Alors que les deux matériaux ont des déformations assez inférieures

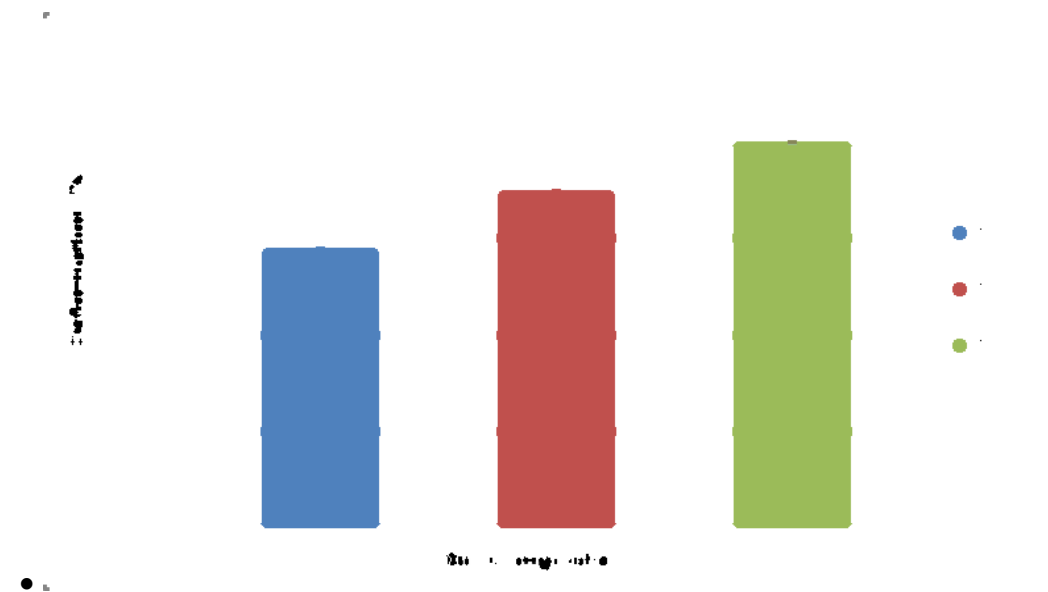


Figure V.9. Evolution des déformations des bio-composites.

Le **Tableau V.3.** Représenté les résultats de test en traction obtenues après l'examen des trois bio-composites de différents tissages.

Composites	E (Gpa)	Cont (Mpa)	Déf Max (%)
Bio-Com A	4,11	33,73	1,45
Bio-Com B	5,36	44,43	1,75
Bio-Com C	3,97	34,27	2

Tableau V. 3. Résumé des résultats obtenus en traction

V. 4. 2. 3. Propriétés mécaniques en flexion

Cette partie vise à déterminer les performances des bio-composites à renfort de différents tissages sollicités en flexion. Les résultats des tests statiques selon la norme , des différents matériaux testés sont représentés par la **Figure V. 10.** Cette figure illustre les évolutions typiques de la contrainte en fonction de la déformation des éprouvettes de bio-composite Jute / PP sollicitées en flexion 3 points.

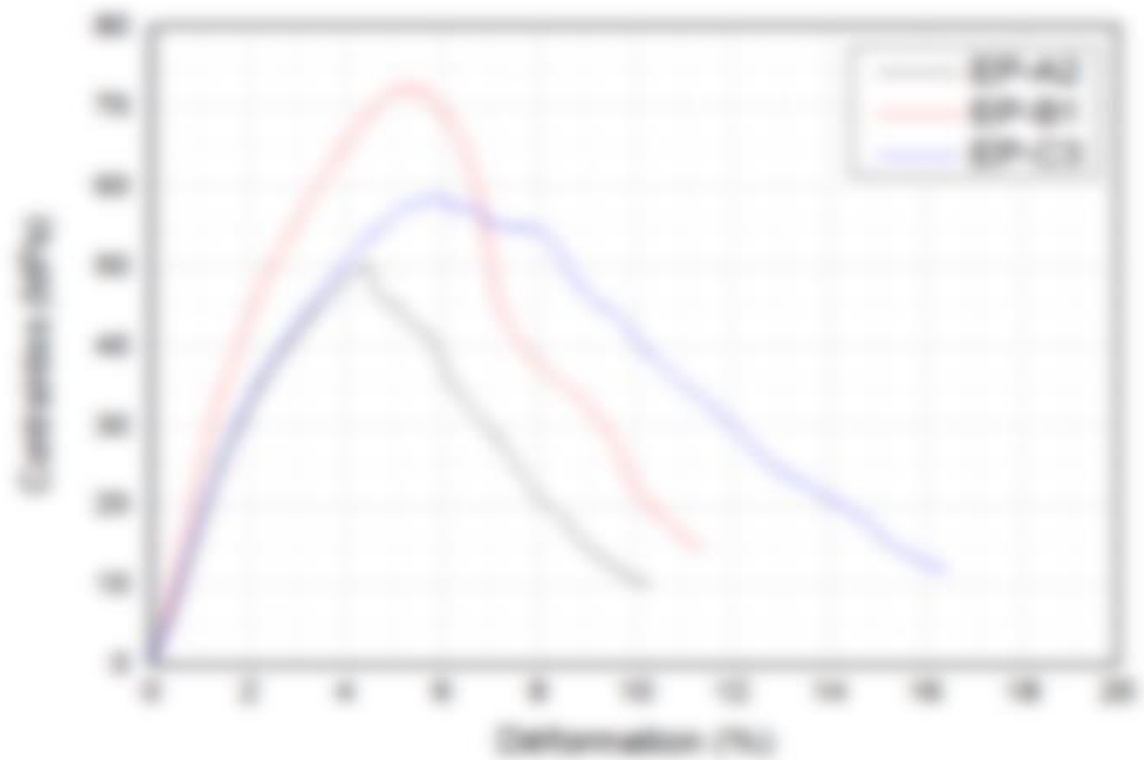


Figure V.10. Evolution de la contrainte en fonction de la déformation

Les propriétés en flexion des bio-composites avec différentes structures de tissu sont illustrés par **Figure. V. 10**. La plus grande valeur de résistance à la flexion était observée pour les composites de tissu de **sergé 2X2** , qui était et beaucoup plus élevé que celles des autres bio-composites **Bio-Com C** et **Bio-Com A** qui avaient des valeurs de contrainte à la rupture en flexion. Ceci suggère que le comportement des deux bio-composites ont presque les mêmes propriétés mécaniques en flexion. En général, la résistance à la flexion est beaucoup plus grande que la résistance à la traction, qui est due au comportement de défaillance de la couche de matrice la plus externe [43].

V. 4. 2. 4. Paramètres de rupture en flexion

- **Contrainte à la rupture** : L'histogramme de la **Figure V.11** montre que la contrainte à la rupture d'un bio-composite est influencée par la nature de tissage du renfort tissu. Comme on peut le voir clairement par cette figure (**Figure V.11**), la contrainte du matériau **Bio-Com B** avait atteint une valeur maximale qui est de l'ordre de comparée à celles des deux autres matériaux

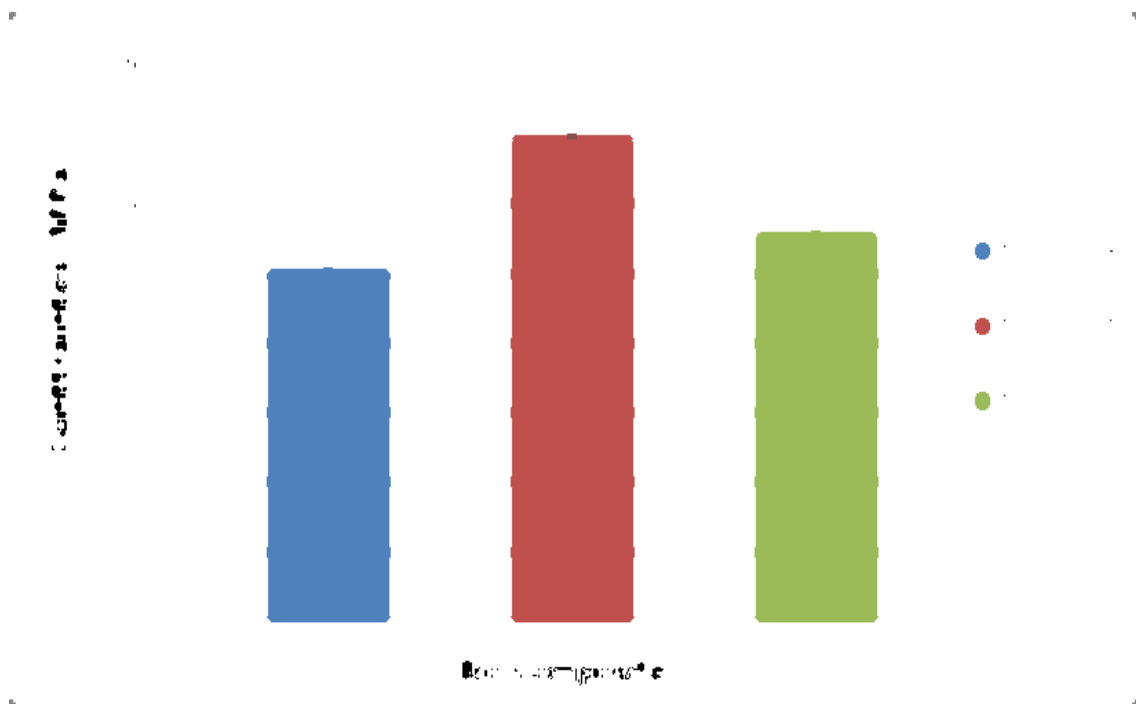


Figure V.11. Evolution des contraintes des bio-composites.

• **Module de Young** : L'histogramme de la **Figure V.12** montre que, les bio-composites renforcés par de tissu à différentes morphologies de tissage avaient des valeurs du modules de rigidité en flexion assez différents. Comme on peut le voir sur la **Figure V.12**, le module de flexion du bio-composite **Bio-Com B** . Alors que les deux autres biomatériaux **Bio-Com C** et **Bio-Com A** avaient des modules de rigidité en flexion assez réduit comparés à celui du matériau **Bio-Com B** **Bio-Com C** et **Bio-Com A**. Cela se traduit, comme déjà discuté dans le cas de la traction, par la nature du tissage **Sergé** qui assure une bonne répartition du renfort dans la matrice PP.

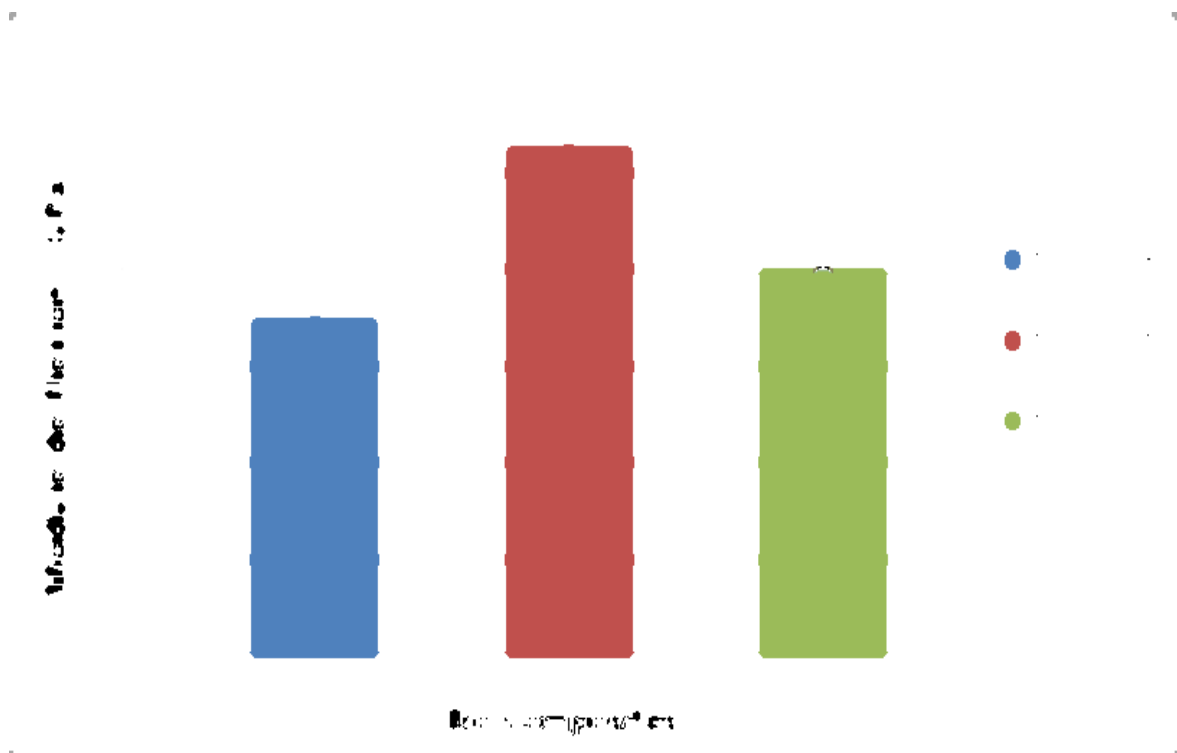


Figure V.12. Evolution des modules de flexion des bio-composites.

• **Déformations à la rupture** : D'autre part, la déformation du **Bio-Com C** est un peu élevée par rapport aux deux bio-composites **Bio-Com A** et **Bio-Com B**, voir la **Figure V. 13**. La déformation du matériau **Bio-Com C** peut atteindre une valeur maximale alors que les deux autres matériaux avaient des déformations pour **Bio-Com B** et **Bio-Com A**.

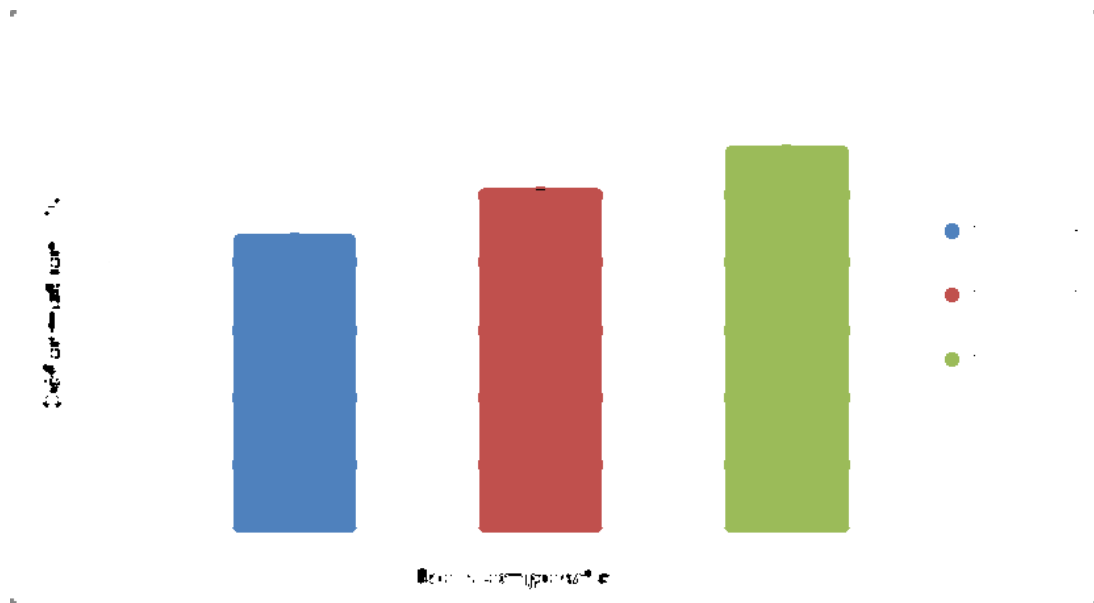


Figure V.13. Evolution des déformations des bio-composites.

Le **Tableau V. 4** représente les résultats de flexion obtenu après les tests de flexion 3 point

Bio-Com A	3,50	50,7	4,435
Bio-Com C	3,99	55,965	5,74

Tableau V.4. Résumé des résultats obtenus en flexion

Conclusion Générale

Les matériaux composites sont de plus en plus utilisés avec des fibres naturelles, grâce à leurs multiples avantages. Par notre travail, nous avons exploité des matériaux recyclés pour l'élaboration d'un nouveau matériau composite. Le renfort est les déchets de Jute à partir des sacs d'emballage et la matrice est sous forme de déchets de polypropylène.

De notre investigation sur ce type de bio-composites, nous présentons les conclusions suivantes :

L'analyse structurale nous a permis de voir de près la constitution de fibre de Jute. En outre, l'analyse thermogravimétrique nous a donné plus de détails sur le comportement thermique de la fibre de Jute afin de prévoir sa dégradation lors de l'élaboration de nos bio-composites. Il est à signaler que la fibre de Jute est stable thermiquement jusqu'au 245°C, ce qui nous laisse dire qu'elle peut être utilisée pour le renforcement des matrices thermoplastiques telle que le polypropylène.

Les résultats des tests en traction statique sur les différents bio-composites Jute / PP élaborés montrent que la variation de la fraction massique, a un effet significatif sur les paramètres de rupture des bio-composites. D'où le matériau **Bio-Com 40%** a enregistré les bonnes performances soit du côté résistance ou bien de rigidité ; d'où la fraction massique de **40%** de taux de fibres qui est le taux optimal qu'on a adoptée lors de l'élaboration de nos bio-composites.

Aussi les résultats des tests en traction statique sur les bio-composites à différents tissages de renfort (Tissu A, Tissu B, Tissu C), ont montrés l'effet significatif du tissage sur les paramètres de rupture de ses matériaux. Le matériau **Bio-Com B** a enregistré de bonnes performances dont résistance en traction est de l'ordre de $(44,43 \pm 4,23 \text{ MPa})$

D'autre part les résultats des tests de flexion 3 points sur les bio-composites à différents tissages comme renfort (Tissu A, Tissu B, Tissu C), montrent que le matériau **Bio-Com B** a enregistré les bonnes performances dont la résistance en flexion ($\sigma = 69,64 \pm 2,38 \text{ MPa}$) et le module d'Young ($E = 5,27 \pm 0,14 \text{ GPa}$),

Donc la structure Sergé 2X2 est conseillée quand la résistance à la traction est la principale préoccupation.

Références Bibliographiques

- [1] MOKHTARI Ahcene, modélisation du comportement et de l'endommagement des composites à matrice thermoplastique, These de Doctorat en Génie Mécanique, université mouloud mammeri tizi-ouzou
- [2] Fowler P.A; Hughes J.M; Elias R.M. Biocomposites technology : environmental, credentials and market forces, Journal of the Science of Food and Agriculture, 2006, 86, 1781-1789.
- [3] David Sedan, Etude des interactions physico-chimiques aux interfaces fibres de chanvre/ciment. Influence sur les propriétés mécaniques du composite, Thèse de doctorat, Faculté des Sciences et Techniques, Université de Limoges, 2007.
- [4] M. Abdelmouleh, S. Boufi, M.N. Belgacem, A. Dufresne, Short natural-fibre reinforced polyethylene and natural rubber composites: Effect of silane coupling agents and fibres loading, Composites Science and Technology, 2007 (67) 1627-1639.
- [5] Jean-Marie Berthelot. Mécanique des Matériaux et Structures Composites. Institut Supérieur des Matériaux et Mécaniques Avancés. Le Mans. France.
- [6] Mustapha Malha, « Mise en oeuvre, caractérisation et modélisation de matériaux composites : polymère thermoplastique renforcé par des fibres de Doum », Thèse de doctorat, Université Mohammed V –AGDAL, Mars 2013.
- [7] A.Blaga, Les plastiques thermodurcissables. The Editors of Modern Plastics Encyclopedia. New York, 1975.
- [8] M.Chatain – Matériaux composites : Présentation générale (AM 5000). Techniques de l'Ingénieur, 2005
- [9] Maya Jacob John, Sabu Thomas , biofibres and biocomposites, School of Chemical Sciences, Mahatma Gandhi University, Priyadarshini Hills P.O., Kottayam, Kerala 686 560, India, June 2007
- [10] J. H. S. Charles E. Harris, and Mark 1. Shuart, "Design and manufacturing of Aerospace composite structures: state-of-the-art assessment," Journal of Aircraft, vol. 39, pp. 545-560.,2002.
- [11] M. Carus and C. Gahle, "Natural fibre reinforced plastics-material with future," Huerth: nova-Institut gmbh, 2008.

- [12] D. U. Shah, "Developing plant fibre composites for structural applications by Optimising composite parameters: a critical review," *Journal of Materials Science*, vol. 48, pp. 6083-6107, 2013.
- [13] B. E. H. LY, "Nouveaux matériaux composites thermoformables à base de fibres de cellulose," institut national polytechnique de grenoble, 2008.
- [14] Andrea STANOULOVIC-DAVIDOVLC, *Matériaux biodégradables à base d'amidon expansé renforcé de fibres naturelles - Application à l'emballage alimentaire*, Thèse de doctorat, Ecole doctorale de l'Université du Sud Toulon-Var, 2006
- [15] Moktari Abdessamed, « influence des ajouts de fins minérales sur les performances mécaniques des bétons renforcé de fibre végétales de palmier dattier », université de Kasdi Merbah Ouargla option génie civil, novembre 2006.
- [16] CARMA, « Glossaire des matériaux composites renforcés des fibres d'origine renouvelable », centre d'animation régional en matériaux avancés, Décembre 2006.
- [17] P.V. Joseph, G. Mathew, K. Joseph, G. Groeninckx, S. Thomas – Dynamic mechanical properties of short sisal fibre reinforced polypropylene composites. *Composites part A : Applied science and manufacturing*, 2003, 275-290.
- [18] C.Baley- *Fibres naturelles de renfort pour matériaux composites (AM 5130)*. Techniques de l'Ingénieur, 2005.
- [19] Baali Hafida, « étude de l'effet du traitement chimique des fibres de palmier dattier sur le comportement mécanique du béton polymère », Thèse de Master université de m'sila, juin 2014.
- [20] Thi-Thu-Loan Doan, Shang-Lin Gao, Edith Ma'der - *Jute/polypropylene composites*, Leibniz-Institute of Polymer Research Dresden, Germany, *Composites Science and Technology* 66 (2006) 952–963,
- [21] Richard Ntenga. *Modélisation multi-échelle et caractérisation de l'anisotropie élastique de fibres végétales pour le renforcement de matériaux composites*. Thèse en cotutelle. Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II; juillet 2007.
- [22] BLEDZKI (AK) et GASSAN (J), *Composites reinforced with cellulose based fibers*. *Progress in polymer Science*, 24 p 221-274 (1999)

- [23] Sofien Bouzouita, « optimisation des interfaces fibre-matrice de composites à renfort naturel », école centrale de Lyon, France, janvier 2013.
- [24] Drzal L.T., Herrera-Franco P.J., Ho H., (2000), Fibre-Matrix Interface Tests, chapter 5 in A Kelly and C Zweben – editors, Comprehensive Composite Materials, Vol. 5, Pergamon, Oxford, pp. 71-111.
- [25] Mwaikambo L.Y., Martuscelli E., Avella M., (2000), Kapok/cotton fabric–polypropylene composites, Polymer Testing, Vol. 19, Issue 8, pp. 905-918.
- [26] Julien BERTHOLON, « Maîtrise Sciences de l'Environnement, Milieux Urbains et Industriels », Université de Cergy-Pontoise, 2002.
- [27] P. Gautron, « Plastiques : valorisation et recyclage des déchets », Techniques de l'Ingénieur, A3830, 1993. Miquel. G. Et Poignants. S, « Les techniques de recyclage et de valorisation des déchets ménagers et assimilés », ed. Assemblée Nationale, Paris, 1999.
- [28] Ir. F. Monfort-Windels. «Recyclage des produits manufacturés: le recyclage mécanique des polymères», European journal of mechanical and environmental engineering, vol 42, n° 1, pp 32-40, 1997.
- [29] Vergnes. B, Puissant. S, « Extrusion monovis » (partie 1), Techniques de l'Ingénieur, AM 3 650, pp 1-16, 2002. Information Chimie, n°373, novembre 1995, n°378, mai 1996, n°385, février 1997.
- [30] Society of the Plastics Industry in America
- [31] Cherfa Nassima ,Résistance à l'impact d'un polypropylène recyclé. 2007.
- [32] Amrous Sabrina, Aklil Meriem, Elaboration et caractérisation des géomembranes à base des polymères recyclés, pour la protection des bourbiers de forage pétroliers, Université de M'Hamed Bougera -Boumerdes –Faculté des Sciences de l'ingénieur, 2016
- [33] Price B & al .., Fibre végétale, comprehensive polymer science, Vol. 7. Pp 22, Ed. Byc. Pregamon oxford 1999.
- [34] HACHEMANE Belkacme, Analyse expérimentale du comportement mécanique d'un matériau composite soumis à des sollicitations d'impact, Thèse de doctorat, sciences et génie des matériaux, Université M'Hamed Bougara - Boumerdès, 2013.
- [35] Debiprasad Gon1, Kousik Das, Palash Paul , subhankarmaity, Jute Composites aswood Substitute, International Journal of Textile Science 2012, 1(6): 84-93

- [36] Amanda C. Lima • Sergio N. Monteiro • Kestur G. Satyanarayana. Recycled Polyethylene Composites Reinforced with Jute Fabric from Sackcloth: Part I-Preparation and Preliminary Assessment , Springer Science+Business Media, LLC 2011
- [37] ELOUAER Abdelmonem, « Contribution à la compréhension et à la modélisation du comportement mécanique de matériaux composites à renfort en fibres végétales », Thèse de Doctorat de l'Université de Reims Champagne-Ardenne, Janvier 2011.
- [38] HAMMICHE Dalila, « Synthèse d'un nouvel agent de couplage PVC-g-MA et son utilisation dans les composites P VC/Alfa », Université Abderrahmane MIRA de Bejaia, novembre 2010.
- [39] BOUSTINGORRY. P, «Élaboration d'un matériau composite à matrice gypse renforcé par bois fragmenté -amélioration de la résistance au vissage de produits préfabriqué en gypse», thèse de doctorat, Génie des procédés, 2002.
- [40] G.M. Arifuzzaman Khan a, M. Terano c, M.A. Gafur b, M. Shamsul Alam, Studies on the mechanical properties of woven jute Fabric reinforced poly(L-lactic acid) composites, Journal of King Saud University – Engineering Sciences, December 2013
- [41] M. Rojek, J. Stabik , G. Wróbel, Ultrasonic methods in diagnostics of epoxy–glass composites, Department of Mechanical Engineering, Silesian University of Technology, ul. Konarskiego 18A, 44-100 Gliwice, Poland, Journal of Materials Processing Technology.
- [42] Rokbi Mansour, Ati Abdelaziz, Aiche Fatima Zohra. Characterization of long lignocellulosic fibers extracted from *Hyphaene thebaica* L. Leaves, Department of Mechanical Engineering, Université de m'sila, M'Sila, Algeria and Laboratoire des Matériaux Non Métalliques, Université Ferhat Abbas de Sétif (UFAS), Sétif, Algeria, June 2018.
- [43] Sharfun N Arju, AM Afsar, Mubarak A Khan and Dipak K Das, Effects of jute fabric structures on the performance of jute-reinforced polypropylene composites. Department of Wet Processing Engineering, Bangladesh University of Textiles (butex), Tejgaon, Dhaka 1208, Bangladesh, Journal of Reinforced Plastics and Composites

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 thermoplastiques recyclables. Les tests sur bio-composites ont montré que le **Bio-Com 40%** a enregistré les bonnes performances soit du côté résistance ou bien du côté rigidité ; d'où la fraction massique de **40%** 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 2X2 permet l'obtention de bonne performance mécanique du coté résistante ou rigidité comparée aux deux autres types de tissage.

ملخص: الهدف الرئيسي لعملنا هو المشاركة في تعميم التصميم البيئي للمواد المركبة القابلة للتحلل الحيوي. لهذا اخترنا استخدام نسيج الألياف النباتية المستردة من أكياس تغليف الجوت والمصنوعة من الألياف النباتية المحلية. استخدمناه كتعزيز للبلاستيك القابل لإعادة التدوير. وأظهرت الاختبارات ان المركب Bio-Com 40 % سجل أداء جيدا سواء على جانب المقاومة أو على جانب الصلابة. وبالتالي، فإن نسبة الكتلة من محتوى 40 % من الألياف هو المعدل الأمثل الذي اعتمدناه عند تطوير المركب لدينا. بالإضافة إلى ذلك، نسيج Sergé 2X2 يجعل من الممكن الحصول على أداء ميكانيكي جيد من جانب المقاوم أو الصلابة مقارنة مع نوعين آخرين من النسيج.

Abstract: The main goal of our work is to participate in generalizing the eco-design of bio-composite materials. For this we have 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 recyclable thermoplastic matrices. The bio-composite tests showed that the Bio-Com 40% recorded good performances either on the resistance side or on the stiffness side; hence the mass fraction of 40% fiber content which is the optimal rate that we adopted when developing our bio-composites. In addition, the Twill 2X2 weave makes it possible to obtain good mechanical performance on the resistant side or stiffness compared to the other two types of weaving.