

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

Faculté des Science

DEPARTEMENT de Chimie

N°:.....



FILIERE : CHIMIE

Spécialité : Chimie de l'environnement

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par:

- CHEBABHI Nassira

THEME

**Valorisation des déchets de feillard plastique
textile
(Cerclage plastique)**

Soutenu devant le jury composé de:

Deghfel Nadir	Dr.	UniversitéM'sila	Président
Benyahia Azzedine	Pr.	UniversitéM'sila	Rapporteur
Reffas Abdelbaki	Pr.	UniversitéM'sila	Examineur
Safer Tabi Ramdane	MCA	UniversitéM'sila	Invité

Année universitaire : 2024/2025

Remerciements :

Je remercie avant tout ALLAH de m'avoir gardé en bonne santé afin de mener à bien mon projet de recherche.

Je remercie le Professeur BENYAHIA Azzedine d'avoir accepté de diriger mon travail, ainsi que pour votre soutien et vos conseils. Ses encouragements ainsi que sa disponibilité permanente.

Je suis très reconnaissant aux membres du jury, à savoir Docteur Deghfel Nadir, Professeur Reffas Abdelbaki qui font l'honneur d'examiner mon travail.

Je tiens également à remercier Monsieur le propriétaire de l'usine {Bateaux cassé M'sila} Safer Tabi Ramdane. Ce qui nous a permis de travailler plus facilement à l'intérieur de l'usine et tout le personnel de l'usine. Sortant Akram et Sirine ARIS qui ont aidé avec le travaille





Dédicace :

Je dédie ce modeste travail :

À ceux qui, après Allah, ont grandement contribué à ce que j'ai pu accomplir...

À ceux qui m'ont soutenu tout au long de mon parcours universitaire, par leurs paroles bienveillantes, leurs prières sincères, leur patience et leurs encouragements...


À ma chère famille,

À mes parents généreux, qui ne m'ont jamais rien refusé, qui ont toujours été mon pilier et mon soutien en toutes circonstances,

À mon frère et mes sœurs, vous êtes ma fierté et mon prolongement...

À mes amis fidèles, qui ont partagé ce rêve avec moi et qui m'ont aidé à chaque étape ; grâce à vous, le chemin a été plus simple et plus beau...

Je vous dédie ce modeste travail, en témoignage de ma profonde gratitude, de ma reconnaissance sincère, et d'une fidélité que les mots ne sauraient pleinement exprimer.



Sommaire :

Table des matières

Listes des Figures :.....	
Listes des Tableaux.....	
Liste des abréviations :	
Sommaire :.....	
Introduction Générale :	1
Chapitre I :Généralité sur les déchets et leurs applications	2
I.Généralité sur les déchets	2
I.1) Définition des déchets	2
I .2) Classification des déchets	3
I.2.1) Déchets naturel.....	3
I. 2.2) Déchets industriels	5
I.2.1.2) Classification des déchets naturel.....	3
I .2.1.2.1) Déchets d'origine animale	3
I .2.1.2.2) Déchets minéraux naturels.....	3
I .2.1.2.3) Déchets de bois	3
I .2.1.2.4) Déchets agricoles naturels	3
I.2.1.2.5) Déchets de jardinage.....	4
I .2.1.2.6) Déchets organiques	4
I .2.1.2. 7) Déchets verts.....	4
I .2.1.2. 7.1)Classification des fibres végétales.....	5
I. 2.2) Déchets industriels	5
I .2.2.1) Définition.....	5
I .2.2.2) Classification des déchets industriels	6
I .2.2.2.3) Les déchets inertes	7
I .2.2.2.4) Les Déchets plastiques	7
I .2.2.2.4.1) Polymères.....	8
I .2.2.2.4.1. a. Monomères.....	8
I .2.2.2.4.1.2) Classification des polymères	8
I .2.2.2.4.1.3) Structure des polymères	9
I .2.2.2.4.2) Le Polyéthylène	10

I .2.2.4.2.2) Classification des polyéthylènes.....	12
I.3) Les fibres végétales.....	12
I.3.1) Définition Les fibres végétales	12
I. 3.2) Présentation de fibre :.....	12
I.3.3) Propriétés des fibres végétales	13
a) Structure physique	13
b) Structure chimique.....	14
I.3.4) Composants de fibres végétales	15
a) Cellulose.....	15
b) Hémicelluloses.....	16
c) Lignine	17
d) Pectines	18
e) Matériaux inorganiques	19
I .4) L'application des déchets et les fibres végétales.....	20
Chapitre II : les matériaux composites	22
II .1) Généralités sur les matériaux composites	22
II .2) Constituants des matériaux composites.....	23
II .2.1) Le renfort	23
II .2.2) La matrice	23
II .2 .3) La Résine	24
II .2 .3.1) Résines thermodurcissables.....	24
II .2 .3.2) Résines thermoplastiques.....	25
II .2 .3.3) Résines thermostables	25
II .3) Classification des matériaux composites	25
II .3.1) Classification suivant la forme des constituants	25
II .3.2) Classification suivant la nature des constituants.....	26
II .4) Propriétés mécaniques des matériaux composites.....	27
II .5) Les facteurs influençant les propriétés mécaniques des composites à renfort naturelle	27
II .5.1) Dispersion des fibres.....	27
II .5.2) Stabilité thermique des fibres naturelles.....	28
II .5.3) Longueur critique.....	28

II .6) Traitements chimiques.....	29
II .6.1) Traitement alcalin	29
II .6.2) Traitement par permanganate de potassium :	30
II .6.3) Traitement par silane.....	31
II .6.4) Traitement avec les acides acryliques et méthacrylates.....	31
II .6.5) Traitement par acétylation	31
II .7) Orientation des fibres.....	32
II. 8) Domaine d'application	33
Chapitre III : Matériels et méthodes.....	35
III.1) Introduction.....	35
III.2) Matériel utilisés.....	35
III.2.1) Feuillards plastiques textiles (PET).....	37
III.2.2) Fibres de Posidonia océanica	38
III.2.2.1) Traitement des fibres de Posidonia océanica par NaOH	39
III.2.2.2) Dispositif de broyage.....	41
III.2.3) Polyester insaturé.....	41
III.2.4) Fibre de verre	42
III. 3) Préparation d'un matériau composite	43
III.4) Matériel de caractérisation	46
III.4. 1) Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF) :	46
III.4. 2) Analyse Thermogravimétrique.....	47
III.4. 3) Machine d'essai de traction :	48
Chapitre IV : Résultats et discussions.....	51
IV.1) Introduction.....	51
IV.2) Caractérisation de la fibre Posidonia océanica	51
IV.2.1) Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF).....	51
IV.2.2) Analyse thermogravimétrique (ATG) :.....	52
IV.3) Propriétés mécaniques des composites.....	53
IV.3.1) La résistance à la traction.....	53
Conclusion Générale :.....	55
Référence :	56

Listes des Figures :

Figure 1 : Différents types des fibres végétales	5
Figure 2 : Déchets industriel dangereux	7
Figure 3 : Les déchets inertes	7
Figure 4 : Représentation de la chaîne d'un polymère linéaire	9
Figure 5: Représentation schématique d'un polymères bidimensionnel (carbone graphite)	10
Figure 6: Représentation schématique d'un polymère tridimensionnel	10
Figure 7 : Schéma représentatif du polyéthylène	11
Figure 8 : Polymérisation du polyéthylène	11
Figure 9: Schéma de microstructure de : a) Fibre de coton b) Fibre de bois	13
Figure 10 : Structure des micro fibrilles qui composent les fibrilles de cellulose	14
Figure 11: Structure moléculaire de la cellulose	16
Figure 12:Liaisons hydrogène intramoléculaires les fibrilles de cellulose.....	16
Figure 13: Structure de l'hémicellulose	17
Figure 14: Schéma représentatif de lignine	18
Figure 15: Structures qui composent de lignine	18
Figure 16:Structure en chaîne de la pectine (acide polygalacturonique)	19
Figure 17:Exemple de conception d'un composite	22
Figure 18:Différentes familles du renfort	23
Figure 19:Défférentes familles de matrices	24
Figure 20:Structure typique de la fibre(i) non traitée et (ii) traité	30
Figure 21: Les modification chimique des fibres cellulosiques par l'acide acrylique.....	31
Figure 22:Matériaux composites dans les bateaux (Bateaux cassé M'sila), photo	34
Figure 23: Flacon d'hydroxyde de sodium	35
Figure 24:Flacon de l'acide acétique	36
Figure 25: Préparation de feillard plastique	37
Figure 26:Traitement des déchets feillard.....	38
Figure 27:Préparation des solutions NaOH à différentes concentrations	39
Figure 28 :Traitement des fibres avec une solution de NaOH à 5 h à déférent concentration	40
Figure 29 :Lavage de fibre	40
Figure 30: Préparation des échantillons à tester.....	41
Figure 31 :Résine polyester et le durcisseur	42
Figure 32:Fibre de verre	43
Figure 33: Le moule utilisée pour préparer les échantillons.....	43
Figure 34:La matériau antiadhésif.....	43
Figure 35:Les étapes de préparation d'échantillon référent	44
Figure 36:Les étapes préparation des échantillons de déchets plastique.....	45
Figure 37:Les étapes préparation des échantillons de déchets plastique avec les fibres végétales....	46
Figure 38: Spectromètre infrarouge (IRTF).....	47
Figure 39:Appareil ATG	48
Figure 40:Machine d'essai de traction	49

Figure 41: Les éprouvettes de test de traction.....	49
Figure 42:Spectre infrarouge de fibre Posidonia océanica non traitées et traitées à (2,4,6,8%NaOH).	52
Figure 43: courbe thermogravimétrique (ATG) de fibre Posidonia océanica non traitées et traitées à (2,4,6,8% NaOH).....	53
Figure 44:Essai de traction l'eprouvetteF0WUP et F8WUP.....	54

Listes des Tableaux

Tableau 1 : Composants chimiques de certaines fibres végétales	19
Tableau 2 : Les propriétés mécanique des fibres végétales	20
Tableau 3: Caractéristiques mécaniques des composites renforcés par des fibres Végétales	27
Tableau 4:Propriétés morphologique de quelques fibres végétales	33
Tableau 5 : Propriété de polyester insaturé	42
Tableau 6:Codage des différents échantillons composites étudiés	50

Liste des abréviations :

ATG : Analyse thermogravimétrique

DIB : Déchets Industriels Banals

DID : Déchets Industriels Dangereux

E : Module de Young

EDTA : Ethylène diamine teraacetic acide

E (t) : Module de traction

GPa-MPa : Unité de mesure de tension

HDPE : Polyéthylène à haute densité

IRTF : Infrarouge à transformée de Fourier

OM : Ordures ménagères

PE : Les polyéthylènes

PEBDHP : Polyéthylène basse densité- haute pression

PEBDL : Polyéthylène basse densité linéaire

PP : Les polypropylènes

PS : Les polystyrènes

PVC : Les polychlorures de vinyles

TD : Résines thermodurcissable

TP : Résines thermoplastiques

TS : Résines thermostables

UP : Résine polyester

σ_t : Contrainte à traction

هذا العمل يهدف الى دراسة سبل تثمين النفايات الصناعية والنباتية، متمثلة في بقايا شرائط التغليف البلاستيكية النسيجية والالياف النباتية، من خلال استعمالها كتعزيز في تحضير مواد مركبة باستخدام البولي استر غير المشبع كمصفوفة. تتم معالجة وتحضير عينات من النفايات المأخوذة من شواطئ البحر (نبات مائي) والبلاستيك المستعمل كشرائط تغليف. حيث قمنا بمعالجة الالياف النباتية بهيدروكسيد الصوديوم بنسب مختلفة (2, 4, 6, 8%) لمدة خمس ساعات ومعالجة شرائط البلاستيك بهيدروكسيد الصوديوم مدة نصف ساعة ثم تحضير عدة مواد مركبة تمزج بين شرائط البلاستيك والالياف النباتية بنسب مختلفة (شرائط البلاستيك =100غ، الالياف النباتية =13غ). تمت عملية التشكيل باستعمال تقنيات الصب اليدوي. أجريت اختبارات تشخيصية على الالياف النباتية المعالجة وغير المعالجة وكذلك على المواد المركبة المدروسة. من بين الاختبارات التشخيصية ما يلي:

التحليل للأشعة تحت الحمراء (FTIR) ، اختبار التحليل الحراري الوزني (ATG)

وبعد التصنيع خضعت النماذج المنتجة لاختبارات ميكانيكية وهي: اختبار الشد

هذا البحث يبرز إمكانية تحويل نفايات محلية ذات التكلفة المنخفضة الى مواد مفيدة من الناحية البيئية والاقتصادية، مما يفتح افاقا نحو تطوير المواد المركبة وإيجاد حلول لمشاكل بيئية باستعمال مواد مستدامة

الكلمات المفتاحية: المواد المركبة، الالياف النباتية، الشرائط البلاستيكية، النفايات، البولي استر غير مشبع، معالجة قلووية

Ce travail vise à étudier les voies de recyclage des déchets industriels et végétaux, représentés par des restes de rubans d'emballage en plastique, de textiles et de fibres végétales, en les utilisant comme renfort dans la préparation de matériaux composites utilisant du polyester insaturé comme matrice. Des échantillons de déchets prélevés sur les plages (plantes aquatiques) et de plastique utilisé comme bandes d'emballage ont été traités et préparés. Nous avons traité les fibres végétales avec de la soude caustique à différents taux (2, 4, 6, 8 %) pendant cinq heures et les bandes de plastique avec de la soude caustique pendant une demi-heure.

Plusieurs matériaux composites ont été préparés, combinant des bandes de plastique et des fibres végétales dans des proportions variables (bandes de plastique = 100 g, fibres végétales = 13 g). Le moulage a été réalisé à la main. Des tests diagnostiques ont été réalisés sur des fibres végétales traitées et non traitées, ainsi que sur les composites étudiés. Les tests diagnostiques suivants ont été réalisés :

Analyse FTIR et analyse thermogravimétrique (ATG).

Après fabrication, les modèles produits ont été soumis à des essais mécaniques, notamment de traction. Cette recherche met en évidence le potentiel de transformation de déchets locaux à faible coût en matériaux écologiques et économiques, ouvrant ainsi des perspectives de développement de matériaux composites et de solutions aux problèmes environnementaux grâce à des matériaux durables.

Mots clés : Matériaux composites, fibres végétales, Feuillard plastique, Les déchets, polyester insaturé, Traitement alcaline.

Summary

This work aims to study the recycling routes of industrial and plant waste, represented by remains of plastic packaging tapes, textiles and plant fibers, using them as reinforcement in the preparation of composite materials using unsaturated polyester as a matrix.

Samples of beach waste (aquatic plants) and plastic used as packaging strips were processed and prepared. We treated the plant fibers with caustic soda at different rates (2, 4, 6, 8%) for five hours and the plastic strips with caustic soda for half an hour.

Several composite materials were prepared, combining plastic strips and plant fibers in varying proportions (plastic strips = 100 g, plant fibers = 13 g). The molding was carried out by hand.

Diagnostic tests were performed on treated and untreated plant fibers, as well as on the composites studied. The following diagnostic tests were performed:

FTIR analysis and thermogravimetric analysis (TGA).

After manufacturing, the produced models were subjected to mechanical testing, including tensile testing. This research highlights the potential of transforming low-cost local waste into environmentally friendly and cost-effective materials, thus opening up prospects for the development of composite materials and solutions to environmental problems through sustainable materials.

Keywords: Composite materials, plant fibers, plastic strapping, waste, unsaturated polyester. Alkaline treatment.

Introduction générale

Introduction générale :

La gestion durable des déchets plastiques représente aujourd'hui un enjeu environnemental majeur. Parmi ces déchets, les feuillets plastiques (utilisés principalement pour le cerclage et le conditionnement industriel) constituent une source importante de pollution en raison de leur usage massif et de leur faible taux de recyclage. L'abandon ou l'incinération de ces déchets engendre des impacts environnementaux considérables, notamment en termes d'émissions de gaz à effet de serre et de dégradation des écosystèmes.

Dans une perspective d'économie circulaire et de développement durable, la valorisation de ces déchets plastiques devient essentielle. Une approche innovante consiste à les intégrer dans la fabrication de matériaux composites, en tant que matrice polymère, en y incorporant des fibres naturelles comme renfort. Ces fibres végétales, issues de ressources renouvelables (telles que le chanvre, le lin, la paille ou les feuilles de palmier), présentent des avantages considérables : légèreté, biodégradabilité, faible coût et bonnes propriétés mécaniques.

Le présent travail s'inscrit dans cette démarche éco-innovante. Il vise à développer un matériau composite à base de déchets de feuillet plastique recyclé, renforcé par des fibres végétales, dans le but d'obtenir un produit à la fois performant sur le plan mécanique et respectueux de l'environnement. Cette solution permet non seulement de donner une seconde vie aux déchets plastiques, mais aussi de promouvoir l'utilisation de ressources naturelles locales, contribuant ainsi à la réduction de l'empreinte écologique des matériaux composites traditionnels.

Mon travail est organisé comme suit :

Chapitre I : Généralités sur les déchets et leurs applications

Chapitre II : Les matériaux composites

Chapitre III : Matérielles et méthodes

Chapitre IV : Résultats et discussions

Chapitre I:
Généralités sur les
déchets et leurs
applications

I. Généralités sur les déchets

I.1) Définition des déchets

Étymologiquement le mot « déchet » est apparu au XIV^e siècle et trouve son origine dans le verbe « déchirer », qui signifie la perte de valeur d'une matière ou d'un objet jusqu'à ce qu'il devienne inutilisable dans un contexte donné [1]

Ainsi, Le déchet évoque l'idée de dégradation, de chute. Cette perte de valeur est associée à des éléments tels que la saleté, la souillure ou l'odeur nauséabonde. C'est ce que l'on appelle l'ordure, un terme venant de la racine latine ord, signifiant « une saleté repoussante, immonde ». C'est aussi l'immondice, du latin immundus, « matière sale, impure » [2]

I.1.1) Définition environnementale et systémique du terme déchet

Les déchets sont une question d'intérêt politique national. Sa définition est inscrite dans la loi 83-03 du 8 février 1983 relative à la protection de l'environnement. Celle-ci le définit comme suit : « tout résidu d'un procédé de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, toute matière, tout produit, plus généralement tout bien meuble ou son propriétaire abandonné destiné à abandonner, La loi n° 03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable complète La politique environnementale élargit la notion de déchet en y intégrant l'idée d'obligation : elle inclut ainsi tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, et, plus généralement, toutes les substances, produits et biens mobiliers dont le propriétaire ou le détenteur se sépare, a l'intention de se séparer, ou est contraint de se séparer [3].

I.1.2) Définition économique d'un déchet

Selon le sens économique du terme, un déchet est défini comme une chose ou un matériau qui a une valeur économique nulle ou négative pour ses détenteurs, à un moment et en un lieu donné [4][5] Pour se débarrasser de ces déchets, le propriétaire devra soit payer un prestataire pour leur enlèvement, soit s'en occuper lui-même. Cette notion de nullité de valeur est relative, car ce qui est considéré comme déchet pour certains peut être perçu comme une matière première, voire un bien, pour d'autres personnes ou communautés.

I.1.3) Définition sociologique de déchet

Sociologiquement, les déchets sont associés à des jugements de valeur péjoratifs. Ils sont perçus de manière négative évoquent des idées de saleté et de malpropreté, et provoquent souvent des sentiments de répulsion voire de dégoût Cela entraîne généralement leur séparation, leur exclusion et leur rejet [6].

I.2) Classification des déchets

I.2.1) Déchets naturel

définition : Un déchet naturel désigne un matériau ou une substance qui provient directement de la nature et qui résulte d'un processus biologique, physique ou chimique naturel. Ces déchets sont généralement biodégradables, sans substances artificielles ou industrielles. Exemple, les feuilles mortes, les branches tombées, les restes de fruits ou d'animaux, ainsi que d'autres matières organiques qui se décomposent naturellement dans l'environnement.

I.2.1.2) Classification des déchets naturel

I.2.1.2.1) Déchets d'origine animale

Ces déchets proviennent des animaux ou de leurs produits dérivés, et peuvent se décomposer naturellement. Ils incluent :

- Fumier ou lisier (excréments d'animaux)
- Restes alimentaires non consommés par les animaux
- Plumes et poils des animaux [7]

I.2.1.2.2) Déchets minéraux naturels

Les déchets issus des matériaux non organiques, comme les pierres ou la terre, qui proviennent de sources naturelles :

- Terre
- Sable
- Pierre
- Gravier

I.2.1.2.3) Déchets de bois

Les déchets de bois naturel, non traité chimiquement, qui peuvent être utilisés pour la combustion ou la fabrication de produits comme le compost. Cela inclut :

- Branches et troncs d'arbres coupés
- Palettes en bois (non traitées chimiquement)
- Résidus de coupe de bois [7]

I.2.1.2.4) Déchets agricoles naturels

Ces déchets proviennent directement des activités agricoles et sont souvent organiques. Cela incluent :

- Paille et foin
- Déchets de culture (comme les tiges et feuilles de plantes cultivées)
- Coques et coques de graines

I.2.1.2.5) Déchets de jardinage

Ce sont des déchets générés par l'entretien des espaces verts, des jardins, et des parcs. Ils incluent :

- Herbe coupée
- Feuilles mortes
- Résidus de taille d'arbustes et d'arbres

I.2.1.2.6) Déchets organiques

Sont des déchets d'origine biologique qui proviennent de la matière vivante et qui peuvent se décomposer naturellement par des processus biologiques tels que la décomposition, la fermentation ou le compostage. Ces déchets sont biodégradables et peuvent être transformés en compost ou utilisés pour produire de l'énergie. Ils incluent :

- **Déchets alimentaires** : restes de nourriture, épluchures de fruits et légumes.
- **Déchets végétaux** : feuilles, herbe coupée, branches, fleurs fanées.
- **Déchets agricoles** : fumier, compost, tiges de cultures.
- **Déchets animaux** : plumes, poils, peaux, déchets d'abattoirs. [7]

Dans ce type de déchets, les Fibre végétales sont au centre de notre étude, où nous nous concentrons sur l'examen des méthodes de traitement et leur transformation en sources utiles telles que le compost ou l'énergie biologique.

En raison de ses propriétés physiques et mécaniques élevées de rigidité, telles que : légèreté, faible coût et décomposable.

Il est facile à recycler et émet peu de gaz toxiques. Il est respectueux de l'environnement et peut être recyclé. Utilisez-les comme alternative aux fibres synthétiques [8].

I.2.1.2.7) Déchets verts

Ce type de déchet provient directement des plantes et des arbres. Ils incluent :

- Branches, feuilles, fleurs fanées
- Rames de légumes et tiges de plantes
- Résidus de récoltes (par exemple, tiges de maïs ou de blé)
- Coquilles de fruits (amandes, noix, etc.).

I.2.1.2. 7.1) Classification des fibres végétales

Il existe plusieurs critères de différenciation des fibres :

- ✓ Suivant l'organe de la plante dont elles sont issues, les fibres végétales peuvent être classées en fibres de tiges (Kenan, jute, lin, ramie), et de feuilles (Sisal, abaque, paille de graminée)
- ✓ Selon ses composants de cellulose, hémicellulose, lignine et pectine, il peut être mou ou dur
- ✓ Selon leur longueur, les fibres végétales peuvent ici être classées en deux catégories : les fibres longues, comme les fibres libériennes qui proviennent de Tiges et écorces de plantes annuelles [9].

La figure 1 représente les différents types des fibres végétales

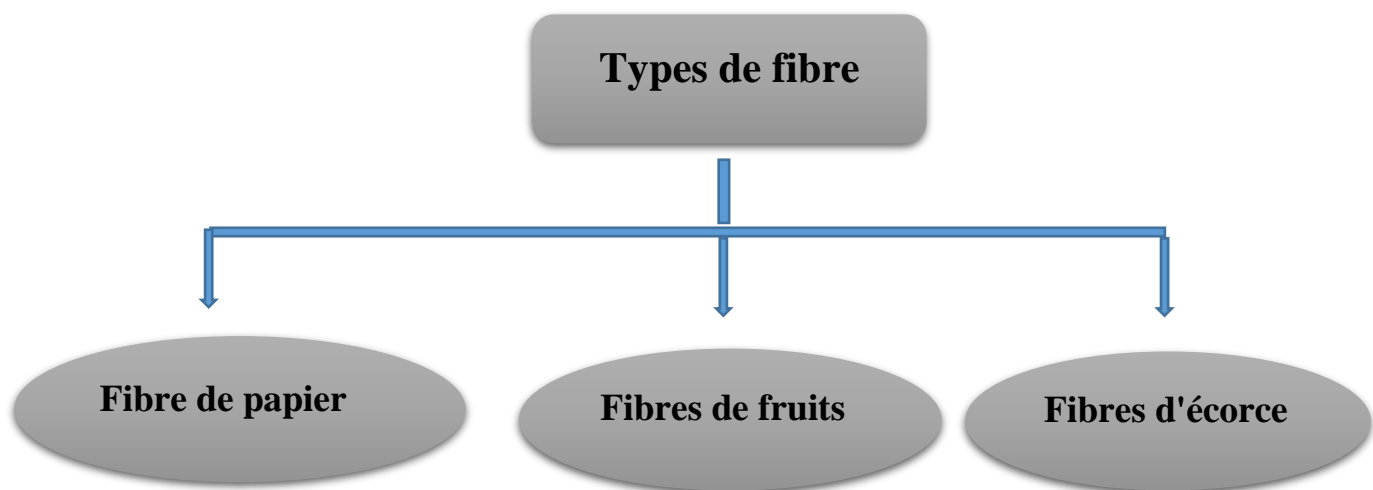


Figure 1 : Différents types des fibres végétales [10]

I. 2.2) Déchets industriels

I.2.2.1) Définition

Les déchets industriels sont définis comme étant la perte des déchets produits en fabriquant le produit ou lors des processus industriels. Ce sont des déchets qui ne peuvent être collectés ni avec les ordures ménagères ni admis en décharge. Les types de déchets industriels incluent les déchets de la cafétéria, la saleté, le gravier, la maçonnerie, le béton, la ferraille, les ordures, le pétrole, les solvants, les produits chimiques, le bois, le bois de charpente et d'autres déchets semblables. Les déchets industriels peuvent être solides, liquides ou gazeux qui sont divisé en deux catégories les déchets dangereux et les déchets non-dangereux.

Les déchets industriels peuvent être toxiques et corrosifs. Si ces déchets sont mal traités ils peuvent être dangereux pour la santé et l'environnement [11].

I.2.2.2) Classification des déchets industriels

I.2.2.2.1) Déchets Industriels Banals (DIB)

Ils ne sont pas inertes et ne présentent aucun caractère toxique ou dangereux ; il s'agit du carton, du papier, du bois, des plastiques, des métaux...etc. Ils peuvent être éliminés avec les ordures ménagères (OM) ou dans les installations spécifiques.

I.2.2.2.2) Déchets Industriels Dangereux (DID)

Appelés aussi spéciaux (DIS), sont des produits chimiques qui peuvent générer des nuisances pour l'homme ou son environnement (Figure2). Ils peuvent présenter une ou plusieurs propriétés de danger énumérées ci-après, ce qui implique certaines précautions particulières. Les propriétés de danger, prises en compte, sont les suivantes

- Explosif : c'est-à-dire fournissant une importante quantité d'énergie en un laps de temps très court (nitrates d'ammonium, perchlorates, TNT...).
- Comburant : c'est-à-dire pouvant entrer en réaction avec des produits avides d'oxygène (peroxydes, peracides, etc.).[12]
- Facilement inflammable : (solvants, combustibles divers, GPL).
- Irritant ou Nocif : (produits lacrymogènes, en général).
- Corrosif : (acides, bases) ; Toxique pour la reproduction/ Cancérogène (pesticides chlorés, PCB, Dioxines, furanes...).
- Mutagène/cancérogène : certains produits nitrés, Pesticides...).
- Substances et préparations qui au contact de l'eau, de l'air ou d'un acide dégagent un gaz toxique ou très toxique.
- Substances et préparations susceptibles après élimination de donner naissance par quelque moyen que ce soit à une autre substance qui présente les mêmes propriétés que précédemment [12].

Ils doivent être traités de manière spécifique dans des installations appropriées, car leur élimination nécessite des mesures particulières pour préserver l'environnement.



Figure 2 : Déchets industriel dangereux [12]

I .2.2.2.3) Les déchets inertes

Les déchets inertes sont des matériaux qui ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne provoquent aucune réaction chimique ou physique. Ils ne sont pas biodégradables et n'affectent pas d'autres substances avec lesquelles ils entrent en contact de manière à causer une pollution ou à nuire à la santé humaine. Ces déchets comprennent des matériaux minéraux non pollués tels que des tuiles, des céramiques, des briques ou du béton (Figure 3). Ils peuvent également inclure des sous-produits industriels comme certains laitiers de hauts-fourneaux ou des scories.



Figure 3: Les déchets inertes [12]

I .2.2.2.4) Les Déchets plastiques

Dire d'une matière qu'elle est plastique signifie qu'elle a le caractère de plasticité donc elle peut être moulée ou modelée à volonté dans des formes déterminées à l'aide d'une force extérieure. Ce sont des matériaux organiques constitués de macromolécules obtenues par polymérisation de monomère, elles sont produites par transformation des substances naturelle,

ou par synthèse directe à partir de substance extraite d'un pétrole, du gaz naturel, de charbon ou d'autres matière minérale [13].

I .2.2.2.4.1) Polymères

On appelle polymère une grande molécule constituée d'unités fondamentales appelées monomères reliées par des liaisons covalentes. Un homopolymère est un polymère qui comporte des motifs monomères tous identiques. Un copolymère est un polymère qui comporte des motifs monomères de deux ou plus sortes différentes. Les polymères peuvent être d'origine naturelle (animale ou végétale) ou d'origine synthétique [14].

I .2.2.2.4.1. a. Monomères

Un monomère est un composé constitué de molécules simples pouvant réagir avec d'autres monomères pour donner un polymère. Contrairement au polymère, un monomère a une faible masse moléculaire [15].

I .2.2.2.4.1.2) Classification des polymères

Les polymères peuvent être classés selon plusieurs modes qui sont :

I .2.2.2.4.1.2.1) Selon leur origine

On peut les classer en trois catégories :

a - Les polymères naturels

Ce type de polymère peut être d'origine végétal ou animal. On peut cependant mentionner, dans cette catégorie, la famille des polysaccharides (cellulose, amidon...), le caoutchouc naturel, etc....

b- Les polymères artificiels

Sont obtenus par modification chimique de polymères naturels, de façon à transformer certaines de leur propriété, les esters celluloses (nitrocellulose, acétate de cellulose) ont toujours connu une certaine importance économique.

c- Les polymères synthétiques

Totalement issus de génie de l'homme, sont obtenu par polymérisation de molécules monomères. Leur variété est extrême et ce sont eux qui seront le plus souvent considérés dans le processus technologique.

I .2.2.2.4.1.2.2) Selon leur structure (dimensionnalité)

Les polymères peuvent encore être classés en trois catégories :

- Les polymères linéaires ou monodimensionnels
- Les polymères ramifiés (bidimensionnels)
- Polymères réticulés (tridimensionnels)

I .2.2.2.4.1.2.3) Selon leur comportement thermique

- Le thermoplastique : sont des polymères qui peuvent être moulés par chauffage et durcis par refroidissement
- Les thermodurcissables : sont durs à la chaleur, ils se transforment de façon irréversible
- Les élastomères : ils subissent de très grande déformation sous l'action de contraintes mécanique

I .2.2.2.4.1.3) Structure des polymères

Les polymères peuvent présenter des architectures extrêmement variables. Ils peuvent être linéaires, ramifiés ou réticulés. Le plus souvent, ils sont amorphes, parfois ils peuvent être, au moins partiellement, cristallins [14]

a- Les polymères linéaires ou monodimensionnelles

Pour lesquels la chaîne macromoléculaire est constituée d'un nombre de monomères bivalents. Une macromolécule linéaire peut être très schématiquement représenté par un trait continu divisé en intervalles figurant chacun une unité monomère Figure (4) ; un ensemble de chaînes polymères est constitué d'entités de longueur variable.

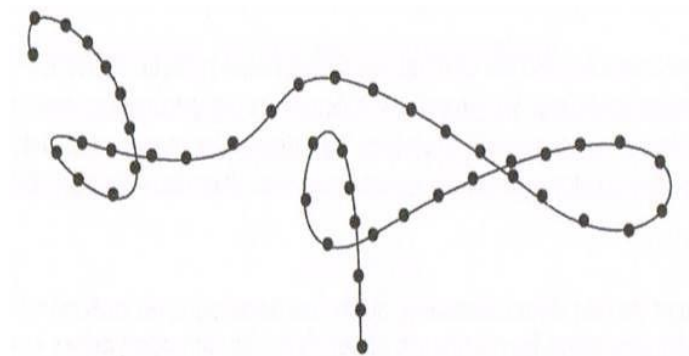


Figure 4: Représentation de la chaîne d'un polymère linéaire [10]

b- Les polymères ramifiés (bidimensionnels)

Dont certains peuvent être produits par la nature (carbone graphite, kératine...) ; dans le domaine des polymères synthétiques ce sont encore des curiosités de laboratoire. Ils se présentent sous la forme de feuillets bidimensionnels, d'épaisseur comparable à celle des molécules simples (Figure 5)

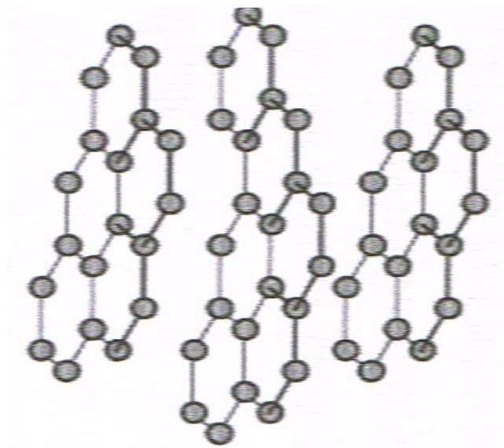


Figure 5: Représentation schématique d'un polymères bidimensionnel (carbone graphite) [16]

c- Polymères réticulés (tridimensionnels)

Sont des polymères tridimensionnels naturels (lignine...) ou bien résultant de polymérisation de monomères dont la valence moyenne est supérieure à deux, ils peuvent aussi être obtenus par la réticulation (formation d'un réseau tridimensionnel), par voie physique ou chimique, de polymères linéaires. Leur dimension moléculaire peut être considérée comme infinie puisque toutes les unités monomères constitutives d'un objet sont liées de façon covalente pour former une seule macromolécule. Les liaisons se développent dans les trois dimensions et un élément de volume d'un tel système est représenté comme sur la Figure 6

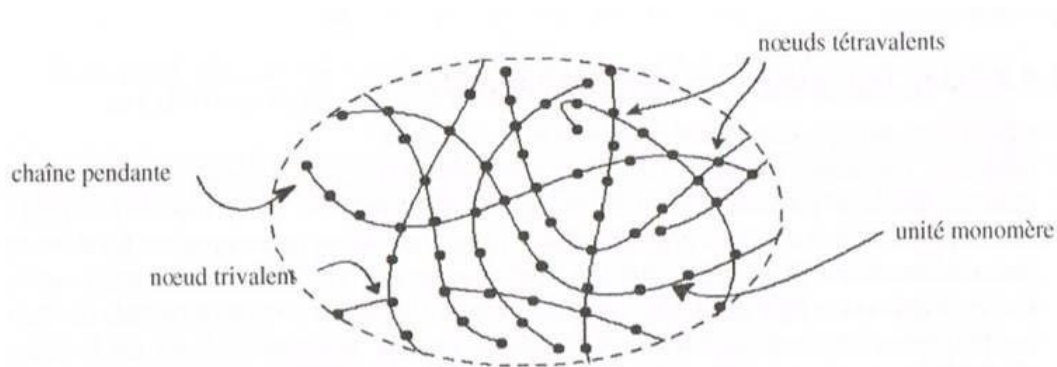
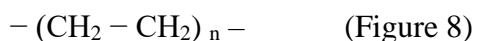


Figure 6: Représentation schématique d'un polymère tridimensionnel [16]

I .2.2.2.4.2) Le Polyéthylène

Le Polyéthylène est l'un des polymères les plus simples et les moins chers (Figure7). C'est un plastique. Son nom vient du fait qu'il est le polymère obtenu par la polymérisation des monomères d'éthylène ($\text{CH}_2 = \text{CH}_2$) en une structure complexe de formule générique :



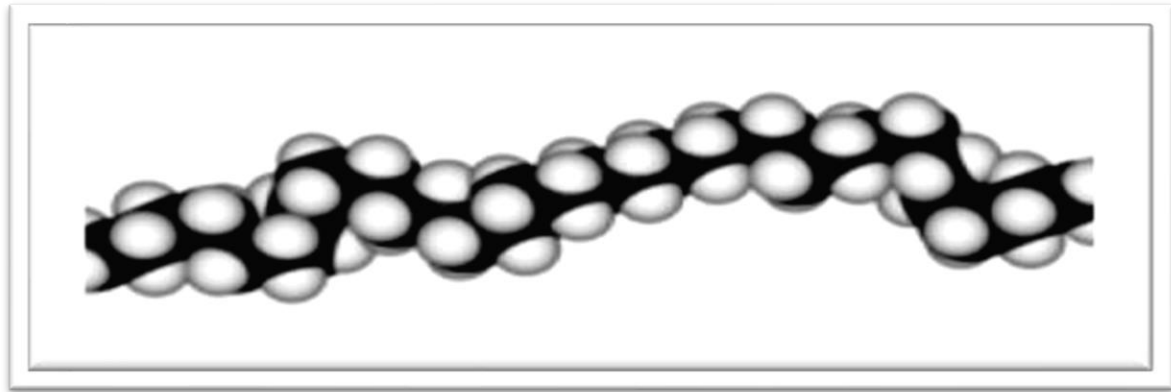
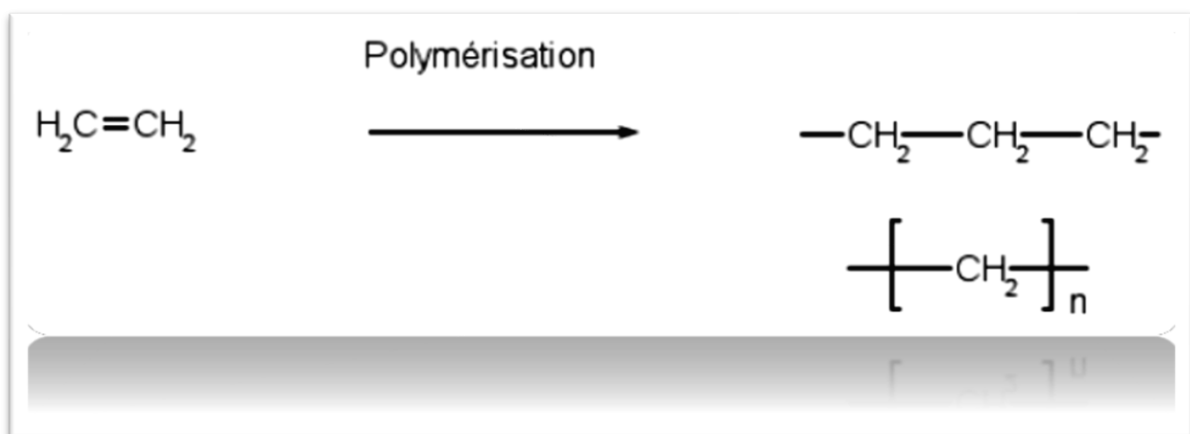


Figure 7: Schéma représentatif du polyéthylène [17]



Monomère d'éthylène

Polymère de polyéthylène

Figure 8 : Polymérisation du polyéthylène [17]

Le polyéthylène est translucide, facile à manier et résistant au froid. Le polyéthylène est thermoplastique. Cette matière plastique représente à elle seule environ un tiers de la production totale des matières synthétiques et constitue la moitié des emballages plastiques. Plusieurs millions de tonnes de polyéthylène sont produites chaque année car c'est un matériau extrêmement polyvalent et important sur le plan économique et écologique. Grâce à sa structure chimique simple, le polyéthylène prime sur la plupart des autres matériaux car il peut être réutilisé. Au cours de ces dernières années, le recyclage des produits usés en PE a pris de plus en plus d'importance : 50% du PE constituant les sacs poubelle sont recyclés. Il existe différents polyéthylènes classés en fonction de leur densité. Celle-ci dépend du nombre et de la longueur des ramifications présentes dans le matériau [17]

I.2.2.4.2.2) Classification des polyéthylènes

- **Polyéthylène haute densité (PEHD)**

Le polyéthylène haute densité est dit aussi “basse pression” est obtenu par polymérisation sous des conditions moins sévères que celle de PEBD. La pression de polymérisation est inférieure à 50 bars et la température est voisine de 100°C. Sa densité est de 0.96g/cm³ et son taux de cristallinité de 93%. Sa température de fusion est comprise entre 130°C et 145°C Les chaînes de PEHD sont beaucoup plus alignées que celles de PEBD, ce qui explique la valeur élevée de sa densité [18]

- **Polyéthylène basse densité linéaire (PEBDL)**

Les polyéthylènes basses densités linéaires sont obtenus par copolymérisation de l'éthylène et d'une ou plusieurs oléfines (butène-1, hexène-1, octène-1, tétraméthyl-4-pentène-1) sous pression inférieure à 107Pa, où les catalyseurs sont de type Ziegler ou Phillips [19] Ces produits ont des caractéristiques voisines de celles des polyéthylènes basses densités haute pression (densité varie de 0.9 à 0.94 et un point de fusion qui varie de 115-128°C) [20]

- **Polyéthylène basse densité- haute pression (PEBDHP)**

Les polyéthylènes basse densité- haute pression est un polymère à branches à longues et courtes fabriqués par amorçage radicalaire avec les procédés haute pression de masse volumique 0.910 à 0.935g/cm³ [20]

I.3) Les fibres végétales

I.3.1) Définition Les fibres végétales

Les fibres végétales sont des structures biologiques fibrillaires composées de cellulose, hémicelluloses et de lignine. En proportion relativement faible d'extractibles non azoté, de matière protéique brute, de lipide et de matières minérales. Les proportions de ces constituants dépendent énormément de l'espèce, de l'âge et des organes de la plante [21]

I.3.2) Présentation de fibre :

La production mondiale annuelle de fibres végétales est estimée à environ 2600 kt (hors coton et bois). Durant les années (2001-2008) la fibre de jute représentait la moitié de la production mondiale, et les usines de ces dernières emploient directement et indirectement environ 11 millions de personnes. Ensuite, les fibres de coco et les fibres de lin sont classées aux deuxième et troisième niveaux. Respectivement à raison de 13,16% de la production mondiale [22]

I.3.3) Propriétés des fibres végétales

a) Structure physique

Les fibres végétales sont un matériau multicouche constitué de parois cylindriques concentriques. Les fibres sont formées comme indiqué sur la Figure 9. Au milieu se trouvent les fibres primaires Il existe une cavité contenant le noyau cellulaire et le cytoplasme, et la taille de la cavité est utilisée pour déterminer la qualité et le degré de maturité des fibres [9]

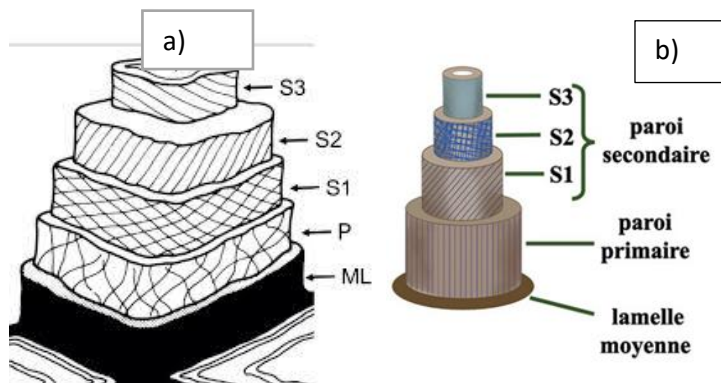


Figure 9: Schéma de microstructure de : a) Fibre de coton b) Fibre de bois [22] [9]

Quant à la paroi, qui est le couvert végétal, elle est constituée principalement de deux parties : les parois cellulaires primaires(P) et secondaire (S)

- La première partie, appelée primaire (P), joue le rôle d'adhésif puisqu'elle soude les fibres entre elles, et est relativement épaisse. Mince (0,1-0,5 μm). Cette paroi cellulaire primaire est principalement constituée de pectine, de lignine et de divers composés chimiques.
- La deuxième partie, appelée paroi secondaire, est constituée de trois couches (S1, S2 et S3) qui constituent la grande majorité du volume de la fibre. Il est constitué de microfibrilles, de lignine et d'hémicellulose. Les microfibrilles de cellulose ont également des structures hautement cristallines Orientation et assemblage en faisceaux identiques de fibrilles [23]

Les microfibrilles ont une disposition hélicoïdale et l'angle entre les fibrilles et l'axe longitudinal est l'un des facteurs (Figure10). Le plus spécifique pour les propriétés mécaniques des fibres végétales, l'un des chercheurs Al-Husseini [9] En soulignant l'effet L'angle des microfibrilles affecte les propriétés de traction des fibres de bois, mais on constate que pour des angles allant de 1° à 46° , les contraintes La coupe ($r\sigma$) et le module d'élasticité (E) diminuent. Plus l'angle est faible, meilleures sont les propriétés mécaniques

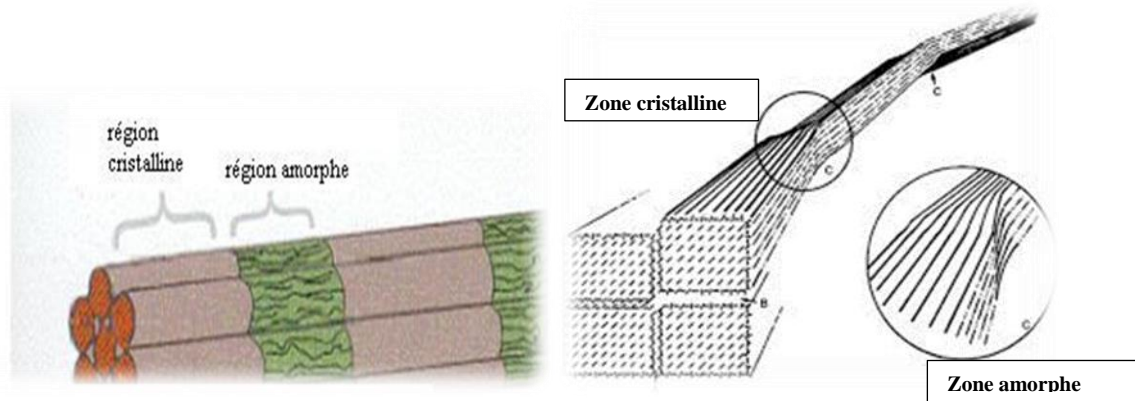


Figure 10: Structure des microfibrilles qui composent les fibrilles de cellulose [22] [23]

b) Structure chimique

La composition chimique des fibres végétales est importante pour leur utilisation dans la préparation de composés. Les fibres végétales se caractérisent par leur composition chimique, qui affecte grandement sa durabilité, notamment dans les environnements alcalins. La composition chimique des fibres végétales se compose de trois composants principaux : la cellulose, l'hémicellulose et la lignine, et il existe également un faible pourcentage de matières extractibles. Avec des solvants organiques, des protéines, des amidons et certains produits inorganiques.

Le pourcentage d'holocellulose (composée de cellulose et d'hémicellulose) et le pourcentage de lignine changent en fonction de la nature et de la source de ces fibres. Les composants des fibres sont liés aux conditions de croissance, à l'âge des plantes, aux conditions climatiques et à leur nature.

De manière générale, selon le tableau 1, qui résume les composants chimiques des fibres de la plante la plus utilisée, on peut dire que la quantité presque prédominante est la cellulose, avec un pourcentage compris entre 30-40%, et parfois plus, comme c'est le cas pour le coton. Le pourcentage de lignine varie entre 10-30% et peut varier selon le type de plante, et 20-30% le pourcentage d'hémicellulose. Ces deux composants sont des quantités variables beaucoup, selon le type de plante [22]. Les propriétés mécaniques et physiques des fibres naturelles sont également liées à la source, elle est déterminée par la composition chimique et la structure liées à la source dont les fibres sont extraites (feuilles, Graines ou tiges) [23].

La cellulose constitue généralement le composant principal des fibres et possède la structure la plus simple. La paroi cellulaire, et du fait de la simplicité de la chaîne cellulosique (absence de toute ramification volumétrique ou complexe), les macromolécules s'alignent facilement pour

former des régions cristallines, la cellulose contribue à la résistance et à la ténacité de la fibre en raison des chaînes très dirigées, Les propriétés mécaniques des fibres naturelles dépendent également du type de cellulose, car chacune. Un type a une structure géométrique particulière et les conditions géométriques déterminent également ces propriétés [22] .

Si l'on peut considérer la cellulose comme un facteur, Renforçant (agent structurant), alors l'hémicellulose et la lignine peuvent jouer le rôle de liant, tandis que l'hémicellulose est constituée de mono Disaccharides et acides de sucre. Sa masse molaire est bien inférieure à celle de la cellulose, et certaines de ces molécules sont ramifiées, ce qui rend. La formation de la forme cristalline est difficile. En conséquence, le polymère de l'hémicellulose est amorphe Il se distingue. L'hémicellulose est hygrophile et adhère à la surface de la cellulose via des liaisons hydrogène, et elle possède également des liaisons. Forte en lignine, l'hémicellulose est responsable de la décomposition organique et de l'absorption de l'humidité. Il est facile de se décomposer thermiquement. Pour lignine, c'est une molécule triple complexe. Les dimensions sont amorphes et constituées de groupes phényle dont la composition chimique n'est pas bien connue. La lignine est phobique à l'humidité. Il confère de la rigidité à la cellule fibreuse végétale, qui est remplie de régions cristallines. Il est également thermiquement stable, mais il se décompose sous l'influence des rayons ultraviolets [24].

I.3.4) Composants de fibres végétales

a) Cellulose

La cellulose est un polymère de la famille des polysaccharides (Figure11), représentant la molécule organique la plus abondante, sur notre planète, la cellulose est le composant structurel de premier ordre de la grande majorité des parois cellulaires végétal, c'est aussi le composant principal du bois, le composant principal du coton, et d'autres fibres textiles comme le lin, chanvre et jute [9] La cellulose est un polymère appartenant à la famille des hydrocarbures et constitué d'une série de monomères colobioses, formés de deux molécules de β -glycose, La longueur du monomère est d'environ $10,3^{\circ}\text{A}$.Il contient des hydroxydes libres (OH) aux positions 2, 3 et 6 des atomes de carbone présents dans Chaîne de carbone . Le lien (β) 1-4 présente également une conformation en chaise pour assurer un plus grand degré de stabilité Quant aux groupes en fin de cellulose, ce sont des fonctions alcoolaldéhyde.

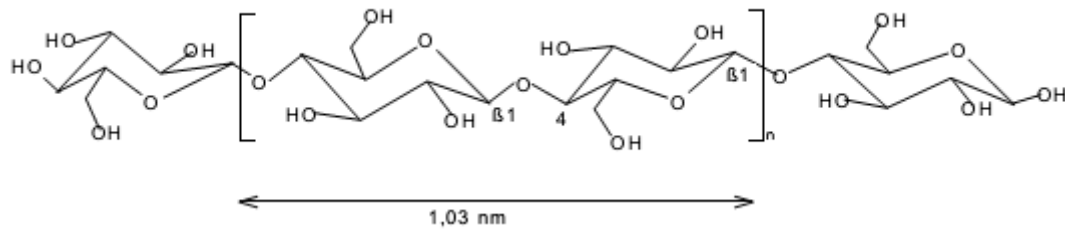


Figure 11: Structure moléculaire de la cellulose [9]

La conformation cyclique est C_{14} , ce qui signifie que les groupes fonctionnels sont également -OH, $-CH_2OH$. La totalité de la liaison glycosidique est en position équatoriale par rapport au plan médian de l'anneau. Série microscopique les molécules de cellulose sont linéaires et forment des liaisons hydrogène intra- et intermoléculaires, conduisant à la formation de Micro fibrilles (Figure12).

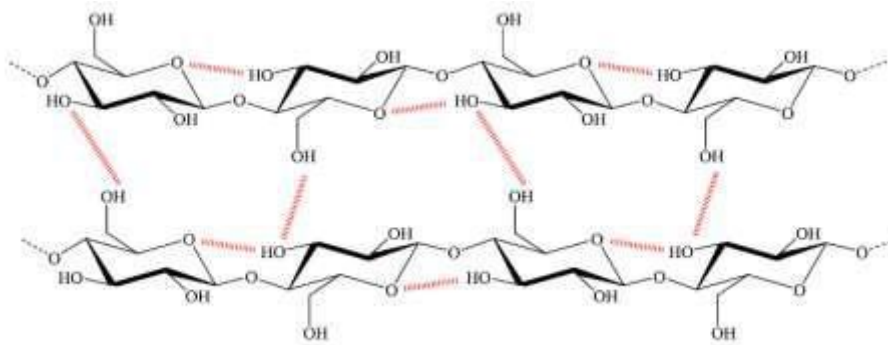


Figure 12: Liaisons hydrogène intramoléculaires les fibrilles de cellulose [9]

b) Hémicelluloses

L'hémicellulose n'a pas la forme de cellulose. Elle comprend un groupe de polysaccharides, constitué de la liaison d'un groupe de cycles à 5 et 6 atomes de carbone. Comme le montre la figure 6 constituer l'hémicellulose est la matrice contenant des fibrilles de cellulose, Elle diffère également de la cellulose sur trois aspects la première est qu'il est constitué de sucres neutres, qui sont le xylose, Arabinose, galactose, glucose, mannose, et les acides uroniques Alors que la cellulose ne contient que des unités de 1, β -4 D glucopyranose.

La deuxième est qu'il représente un grand nombre de liaisons contenant des groupes latéraux d'origine non cristallins. Enfin, à l'état naturel, il présente un degré de polymérisation compris entre 50 et 300. Alors que la cellulose native est 10 à 100 fois supérieure à l'hémicellulose Ce dernier est aussi un amoureux très hygroscopique et soluble en milieu alcalin. Il s'hydrate facilement dans les acides. De plus, l'hémicellulose a une structure chimique très différente Cela dépend de la source de la plante, du type de cellule, localisation dans la paroi ou même entre

les tissus, parmi les hémicelluloses les plus courantes des parois cellulaires du bois, on trouve familles Zilan, Mannan et galactane. La division de l'hémicellulose la mieux étudiée correspond aux xyloglycanes (Figure13). Il se compose d'une chaîne de glucose et de courtes chaînes latérales de xylose, de fucose et de galactose [22].

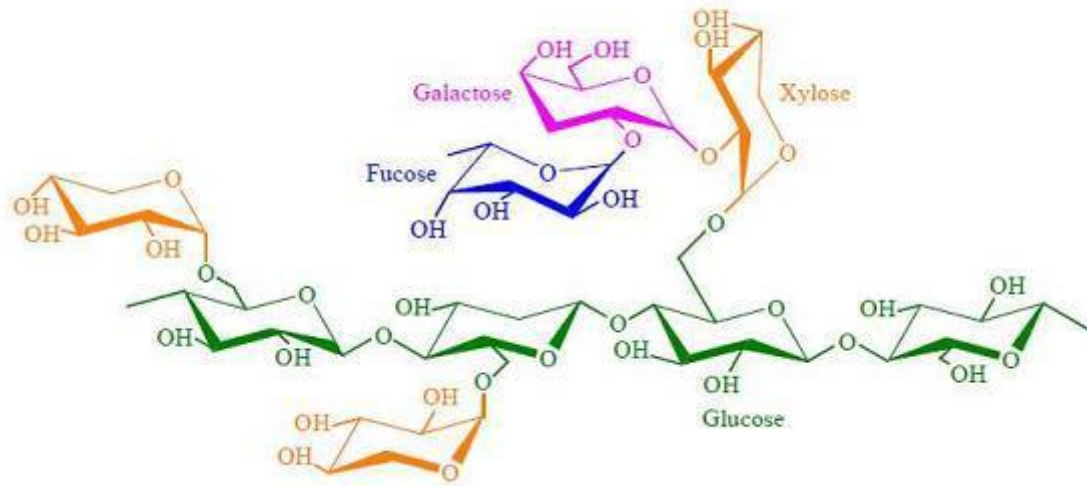


Figure 13: Structure de l'hémicellulose [15]

c) Lignine

La lignine est une molécule très hétérogène composée de polymères aromatiques, Il est considéré après les sucres le polymère naturel le plus abondant sur Terre, Il contribue également à la rigidité structurelle des parois cellulaires et protège les plantes ne sont pas attaquées par des organismes pathogènes, Il est distribué dans toute la paroi cellulaire secondaire, avec la plus grande concentration au milieu, dont environ 70 % est présente dans la paroi secondaire. Chez les plantes, la lignine agit comme ciment dans la matrice cellulose/hémicellulose, Il est donc généralement prescrit C'est le matériau adhésif de la paroi cellulaire végétale et il participe également à la formation de l'hémicellulose. [9] La lignine est une molécule tridimensionnelle composée d'unités phénylpropane (Figure 14).

Les unités de base (monolignols) qui composent la lignine sont l'alcool coniférylique, L'alcool sinabélique et alcool coumarylique (Figure 15) [25] Lors de la formation de la lignine, les phénol oxydases végétales comme les laccases interviennent et permettent la polymérisation de diverses unités basiques. Une fois formé. La lignine se lie à divers polysaccharides pour former une matrice qui conduit à son tour à Construire une paroi végétale [21]

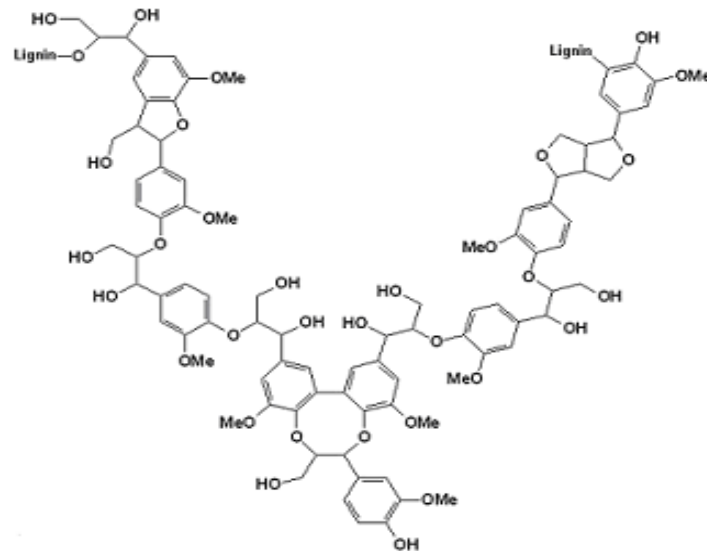


Figure 14: Schéma représentatif de lignine [22] [23]

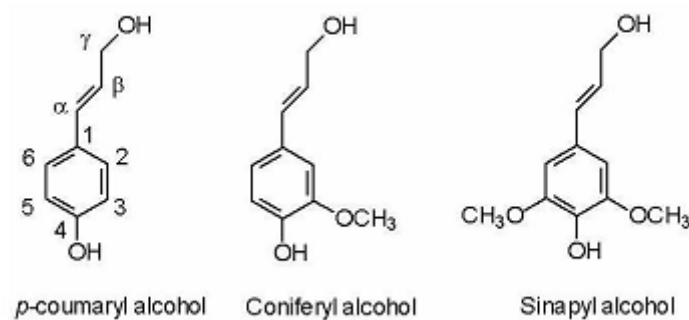


Figure 15: Structures qui composent de lignine [9] [25]

d) Pectines

Les pectines sont des polymères de polysaccharides acides hétérogènes, qui constituent la chaîne de base du monomère à l'acide uronique lié en 1-4 (Figure 16). On les trouve généralement dans les parois cellulaires fibres végétales primaires (sauf le bois) ainsi que dans la lame médiane. La structure des pectines est liée à selon le type de plante, les proportions des différentes espèces changent en fonction de leur position dans les parois cellulaires. Ils sont considérés ce sont les composés les plus hydrophiles des fibres végétales en raison de la présence de groupes acides carboxyliques. Il assure l'adhésion entre les différentes cellules. Il est extrait des fibres de manière chimique soit avec de l'eau bouillante ou avec de l'acide éthylène diamine tétra acétique (EDTA).

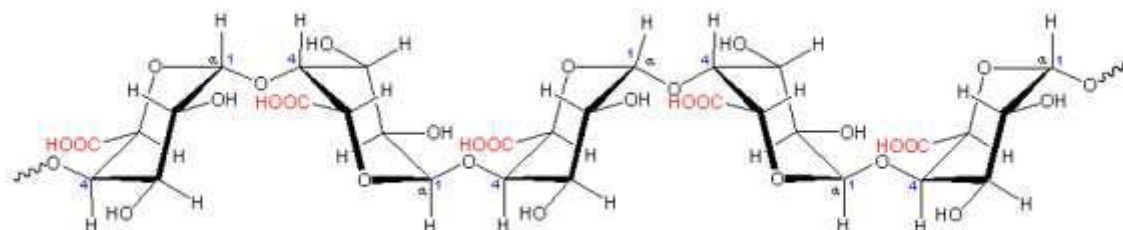


Figure 16: Structure en chaîne de la pectine (acide polygalacturonique) [22]

Durant la maturation des fruits, les pectines sont souvent transformées en hémicellulose, ce qui indique la similitude leur structure, mais la différence entre la structure chimique des pectines et la structure des hémicelluloses est-ce que les pectines transportent groupes carboxyles (-COOH) alors que l'hémicellulose ne l'est pas, en plus de ça la disposition des pectines est similaire à celle de la cellulose, c'est à dire des chaînes linéaires dues à la rotation des monomères par rapport pour les monomères voisins[9] .

e) Matériaux inorganiques

Le composant inorganique contribue généralement à la formation de cendres, qui sont des restes de sels minéraux et de matières inorganiques. Qui est obtenu après combustion des fibres à une température de 575 ± 15 degrés Celsius, La teneur en minéraux peut être élevée dans les plantes qui contiennent une grande quantité de silice. Le Tableau 1 montre la composition chimique de certaines fibres végétales [9].

Tableau 1 : Composants chimiques de certaines fibres végétales [22] [9]

Type de fibre	Cellulose %	Hémicellulose %	Lignine %	Cendre %
Riz	28-48	23-28	12-16	15-20
Orge	31-45	24-29	14-15	5-7
Maïs	33-50	27-30	16-19	2-5
Bambou	26-43	15-26	21-31	1.7-5
Alliés	33-38	27-32	17-19	6-8
Sisal	43-62	21-24	7-9	0.6-1
Coton	85-96	1-3	0.7-1.6	0.8-2
Canne à sucre	32-48	27-32	19-24	/
Bois de conifère	41-45	16-34	7-14	<1
Bois massif	38-49	23-30	19-26	<1

I.4) L'application des déchets et les fibres végétales

I.4.1) les fibres végétales

L'usage des fibres végétales dans différents domaines remonte à une époque très ancienne. Par exemple, elles ont d'abord été utilisées dans la fabrication de textiles et de cordages, puis dans la production de matériaux de construction composites à base de fibres naturelles, un domaine qui est aujourd'hui de plus en plus exploité. En effet, plusieurs études montrent que le renforcement d'une matrice en résine ou en plastique avec des fibres naturelles offre de bons résultats, tant sur le plan économique que sur le plan mécanique. (Le tableau2) représente les propriétés mécaniques des fibres végétales.

Tableau 2 : Les propriétés mécaniques des fibres végétales [26]

Fibres	Masse volumique (g/cm ³)	Allongement à la rupture (%)	Contrainte à la rupture (MPa)	Module de Young (GPa)
Alfa	1,4	1,5–2,4	134–220	13–17,8
Agave	1,4	20	350	4,2
Coton	1,5	7–8	191–398	3.6–8.4
Jute	1,3	1,5–1,8	300–600	20
Lin	1,5	2,7–3,2	230–690	18
Chanvre	1,5	1,6	460	17
Ramie	1,5	3,6–3,8	266–630	42–86
Sisal	1,5	2–2,5	340–423	6–14
Bois	1,5	–	666	26

I.4.2) Polymères

Les polymères sont devenus l'élément essentiel d'un nombre très important d'objets usuels et courants, dans lesquels, ils ont souvent remplacé les substances naturelles [14].

Les domaines d'utilisation sont relativement classés comme suit :

- Emballage
- Bâtiment et construction 23%
- Électricité et électronique 9%
- Automobile 8%
- Sport et loisirs 3%
- L'agriculture 2%
- Autres 21%

Ces six marchés représentent environ 80% des plastiques utilisés dans le monde. Les 20% restants sont dans de nombreux autres marchés, même si leur poids économique est faible, ils sont des opportunités à forte valeur ajoutée potentielle comme le marché de la santé,

Les cinq familles de polymères les plus utilisées sont :

- Les polychlorures de vinyles (PVC) utilisés comme pièces rigides, tuyauterie, films d'étanchéité.
- Les polyéthylènes (PE) utilisé comme emballages transparents, pièces rigides.
- Les polypropylènes (PP) et les polystyrènes (PS) : pièces rigides, fibres.
- Les polyesters saturés : cosmétiques, revêtements de surface, peintures, vernis plastifiants pour autres polymères : et les polyesters insaturés : films, fibres textiles, matériaux composites.

Chapitre II : Les matériaux composites

II .1) Généralités sur les matériaux composites

Les matériaux composites sont des matériaux techniques composés de plusieurs composants dont les propriétés diffèrent considérablement (Figure 17). Dans leurs propriétés mécaniques, chimiques et physiques, Les propriétés distinctives des matériaux composites résultent des propriétés individualité de ses éléments constitutifs et le rapport volumétrique de chacun d'entre eux, ainsi que la manière dont chaque composant est disposé matériau composite, Les matériaux composites sont conçus en fonction de la fonction qui leur est demandée et de manière à ce que cette conception réponde aux exigences mécanique, structurelle, chimique, d'ingénierie et même esthétique [27]. Il s'agit d'une combinaison de deux substances. Ou plus, car chaque substance a une nature différente de l'autre [28]. Cette association conduit à son tour à un complexe avec efficacité supérieure à celle de ses matériaux constitutifs [22]. Les propriétés de ces composés varient considérablement en fonction de la nature de la fibre de renforcement (longueur, concentration et type de fibre) et type de résine utilisée dans le matériau (base) matrice [9]

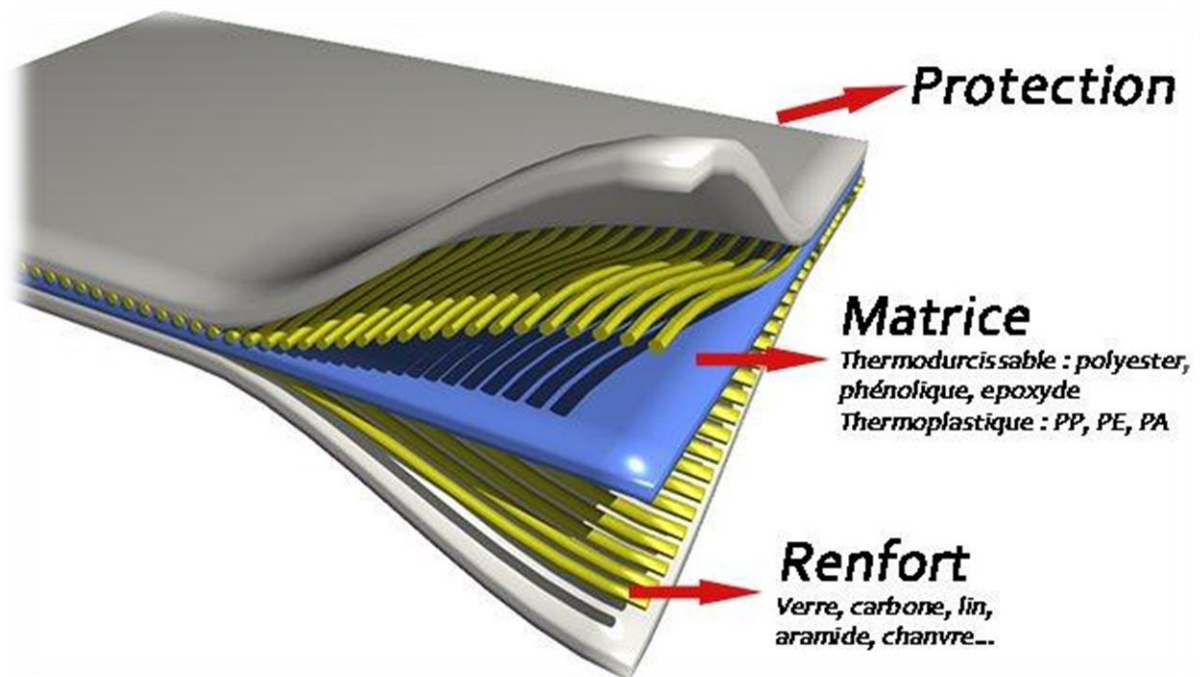


Figure 17:Exemple de conception d'un composite [9]

II .2) Constituants des matériaux composites

II .2.1) Le renfort

Les renforts permettent d'améliorer la résistance mécanique à la traction et la rigidité des matériaux composites et se présentent sous forme de filament (fibres organiques ou minérales), dans la Figure 18, nous présentons différentes combinaisons de renforts

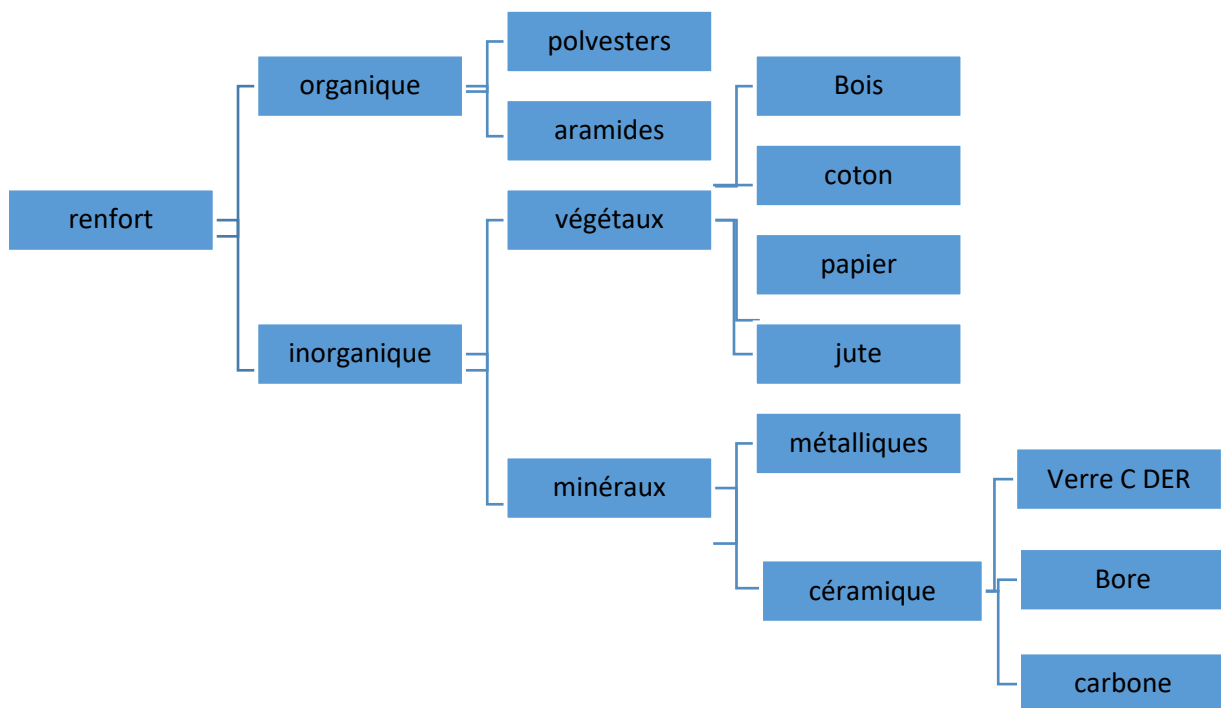


Figure 18:Differentes familles de renfort [29]

II .2.2) La matrice

La matrice est le composant qui maintient les fibres ensemble. Elle répartit les efforts (résistance à la compression ou à la flexion) et assure une protection chimique des fibres.

Dans la figure 19, nous montrons les différentes familles de matrices.

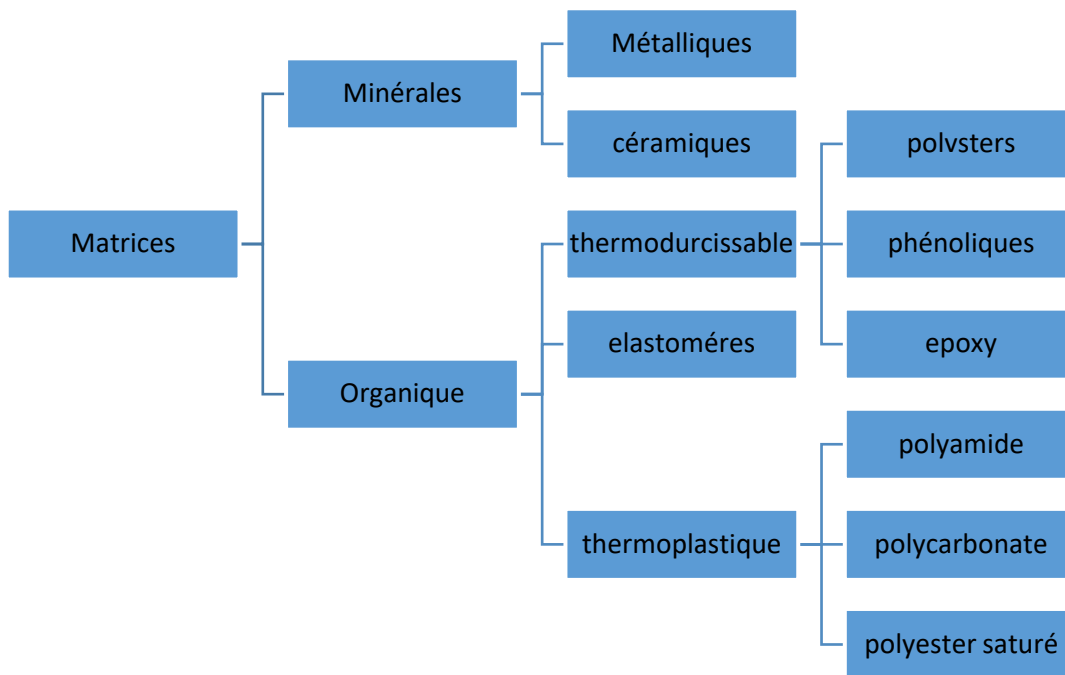


Figure 19: Différentes familles de matrices [29]

II .2 .3) La Résine

Les résines les plus employées dans les matériaux composites sont les résines thermodurcissables et les résines thermoplastiques

II .2 .3.1) Résines thermodurcissables

Les résines thermodurcissables ont d'excellentes propriétés mécaniques, obtenues par traitement thermique ou physico-chimique. Une fois durcies, elles ne peuvent plus être remises en forme, ce qui limite leur moulage à une seule fois. Parmi les résines thermodurcissables les plus couramment utilisées dans la fabrication de matériaux composites, on trouve, par ordre décroissant de tonnage : les résines polyesters insaturées, les résines de condensation et les résines époxydes

Les résines les plus utilisées après les résines polyesters insaturées sont les résines époxydes. Elles ne représentent cependant que 5 % du marché composite, à cause de leur prix élevé (de l'ordre de cinq fois plus que celui des résines polyesters) [30] Du fait de leurs bonnes caractéristiques mécaniques, les résines époxydes, généralement utilisées sans charges, sont les matrices des composites à hautes performances (constructions aéronautiques, espace, missiles, etc.).

Les caractéristiques mécaniques générales des résines époxydes sont les suivantes :

- Masse volumique 1100 à 1500 kg/m³
- Module d'élasticité en traction 3 à 5 GPa

- Contrainte à la rupture en traction 60 à 80 MPa
- Contrainte à la rupture en flexion 100 à 150 MPa
- Allongement à la rupture 2 à 5 %
- Résistance au cisaillement 30 à 50 MPa
- Température de fléchissement sous charge 290 °C

II .2 .3.2) Résines thermoplastiques

Les polymères thermoplastiques sont des matériaux qui peuvent être ramollis par chauffage et durcis à nouveau par refroidissement, et ce de manière réversible, dans une plage de température propre à chaque type de polymère. À l'état ramolli, ces résines peuvent être facilement mises en forme grâce à leur aptitude à la plasticité [30].

II .2 .3.3) Résines 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 2000h sans perdre la moitié de ses caractéristiques mécaniques [30].

II .3) Classification des matériaux composites

Les composites peuvent être classés suivant la forme des composants ou suivant la nature des composants :

II .3.1) Classification suivant la forme des constituants

II .3.1.1) Composites renforcés par des fibres

Un matériau composite est un matériau constitué d'une matrice renforcée par des fibres, qui peuvent être soit continués, soit discontinues (courtes). Le type de fibres utilisées, ainsi que leur disposition et orientation dans la matrice, influencent fortement les propriétés mécaniques du matériau final.

Grâce à cette variabilité, il est possible de concevoir des matériaux présentant des comportements très anisotropes (directionnels) ou, au contraire, des comportements quasiisotropes dans le plan.

Ainsi, le concepteur dispose d'un matériau hautement modulable, dont il peut ajuster les performances mécaniques et physiques en jouant sur plusieurs paramètres essentiels, tels que :

- La nature des constituants,
- Leur proportion relative
- L'orientation des fibres.

Ce contrôle précis des paramètres permet d'adapter les matériaux composites aux exigences spécifiques de chaque application, qu'il s'agisse de résistance, de rigidité ou de performance globale [31].

II .3.1.2) Composites renforcés par des particules

Un matériau composite à renfort particulaire est un composite dans lequel le renfort est constitué de particules, par opposition aux fibres. Contrairement à ces dernières, les particules ne possèdent pas de direction privilégiée, ce qui confère au matériau un comportement plus isotrope.

Les particules sont principalement utilisées pour améliorer certaines propriétés spécifiques du matériau de base, telles que la dureté, la résistance à la température, ou encore la résistance à la corrosion. En outre, elles peuvent jouer le rôle de charges destinées à réduire le coût de production du matériau, tout en maintenant des performances mécaniques et physiques acceptables [31].

II .3.2) Classification suivant la nature des constituants

Pour la nature de la matrice, les composites sont classés selon des composés à matrice organique, à matrice métallique ou à matrice minérale. Différents renforts sont liés à ces matrices. Seuls certains couples d'associations ont actuellement un usage industriel, tandis que d'autres se développent dans des laboratoires de recherche. Parmi ces composés on peut citer :

II .3.2.1) Composites à matrice organique (résine, charges)

- Des fibres minérales : verre, carbone, etc.
- Des fibres organiques : Kevlar, polyamides, etc.
- Des fibres métalliques : bore, aluminium, etc.

II .3.2.2) Composites à matrice métallique (alliages légers et ultraléger d'aluminium, de magnésium, de titane)

- Des fibres minérales : carbone, carbure de silicium (SiC),
- Des fibres métalliques : bore.
- Des fibres métal-minérales : fibres de bore revêtues de carbure de Silicium.

II .3.2.3) Composites à matrice minérale (céramique) :

- Des fibres métalliques : bore,
- Des particules métalliques : cermets,
- Des particules minérales : carbures, nitrures, etc. [32]

II .4) Propriétés mécaniques des matériaux composites

Le tableau 3 présente les propriétés mécaniques de plusieurs composites renforcés par des fibres végétales telles que le lin, le jute, le sisal et le chanvre. Il comprend trois caractéristiques principales : la résistance mécanique (MPa), le module de Young (GPa), et l'allongement (%). On remarque que le composite Epoxy/Lin possède la résistance la plus élevée (153,6MPa) ainsi que le module de Young le plus élevé (15,97GPa), ce qui indique une grande rigidité. En revanche, le composite Polypropylène/Sisal présente le taux d'allongement le plus élevé (8,33%), indiquant une plus grande flexibilité.

Tableau 3: Caractéristiques mécaniques des composites renforcés par des fibres végétales [33]

Composites	Résistance (MPa)	Module d'Young (GPa)	Allongement (%)
Polypropylène - Chanvre	37.8	12.15	5.21
Epoxy-Chanvre	106.3	12.69	1.18
Epoxy-Lin	153.6	15.97	1.34
Polypropylène-Tournesol	51.5 ± 2.1	1.57 ± 0.09	-
Epoxy-Jute	83.9±5.25	3.24±0.3	-
Polyester-Jute	13.73±4.34	47.27±3.53	5.57±1.83
Polypropylène-Sisal	44.40	1.040	8.33
Polystyrène-Sisal	45.06	9.998	7.00
Polyéthylène-Sisal	31.12	3.086	2.00

II .5) Les facteurs influençant les propriétés mécaniques des composites à renfort naturelle

II .5.1) 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 [34].

II .5.2) Stabilité thermique des fibres naturelles

Les fibres naturelles ont un inconvénient majeur : leur limite thermique en usage. En effet, le dépassement de la température de dégradation thermique de ces fibres durant le procédé de fabrication peut altérer les propriétés mécaniques du composite final. Les problèmes de stabilité thermique et de dégradation des fibres ligno cellulosiques sont bien documentés dans la littérature. La dégradation thermique de ces fibres commence généralement autour de 200 °C. Toutefois, des températures plus élevées peuvent être tolérées si elles sont appliquées sur de courtes durées. Par ailleurs, certains traitements chimiques, tels que l'alcalinisation, peuvent améliorer la résistance thermique des fibres naturelles, permettant ainsi d'étendre leur domaine d'application dans les composites [34].

II .5.3) 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 [35].

II .6) Traitements chimiques

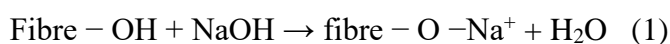
Les principaux composants des fibres végétales sont la cellulose, l'hémicellulose et la lignine, qui contiennent des groupes hydroxyles. Ce dernier c'est la source de l'hydrophile des fibres végétales. Cependant, la différence entre les fibres, qui sont hautement hydrophiles, et les polymères, qui sont la propriété hydrophobe rend très difficile le développement de composites fibres végétales/polymères. Cela provoque une diminution significative de l'adhérence entre fibres et matrice organique [36]. Il existe plusieurs méthodes chimiques variées, parmi lesquelles on peut citer le traitement au silane, le traitement au permanganate de potassium, le traitement à l'anhydride acétique et le traitement alcalin. et le traitement a l'acide acrylique et méthacrylate.

II .6.1) Traitement alcalin

Le traitement alcalin est l'un des procédés chimiques les plus couramment utilisés pour améliorer les propriétés des fibres naturelles. Son effet le plus notable réside dans la rupture des liaisons hydrogène qui constituent la structure en réseau de ces fibres. Cette rupture entraîne une modification de la structure interne, se traduisant par une augmentation significative de la rugosité de leur surface, ce qui améliore leur réactivité et leur performance dans diverses applications industrielles [37].

Les fibres naturelles sont soumises à un traitement alcalin par l'ajout d'hydroxyde de Sodium (NaOH). Ce traitement permet d'éliminer une partie de la lignine, de la cire et de L'huile qui recouvre la surface externe des parois cellulaires des fibres. En conséquence, la cellulose subit une dépolymérisation, ce qui expose les cristallites de taille plus réduite, comme illustré dans la Figure 20 [37].

De plus, lors du traitement alcalin, certaines substances cimentaires telles que les composés hémi cellulosiques et la lignine sont éliminées, ce qui a un impact sur la composition chimique des fibres végétales, l'orientation moléculaire des cristallites de cellulose et le degré de polymérisation [38] Comme représenté dans l'équation 1 :



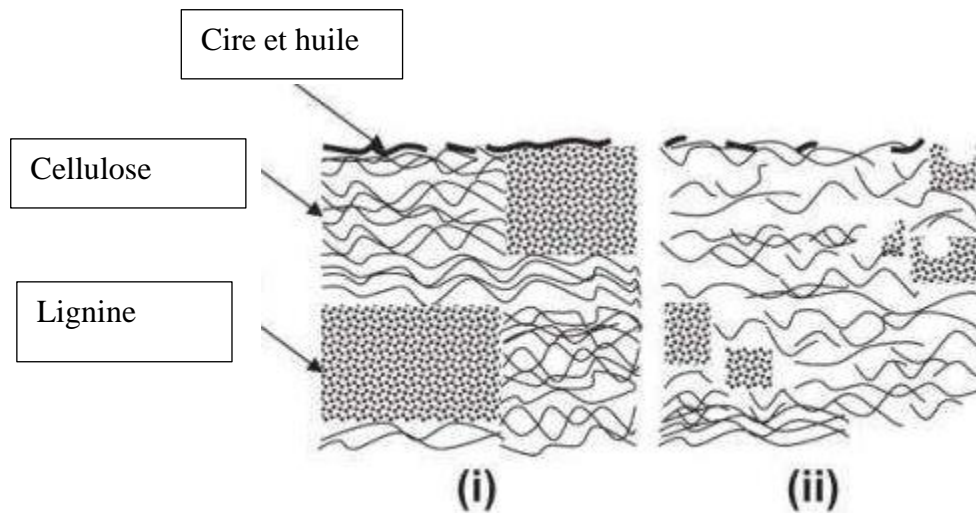
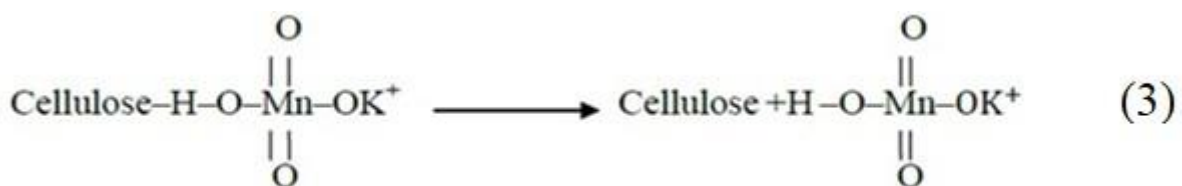
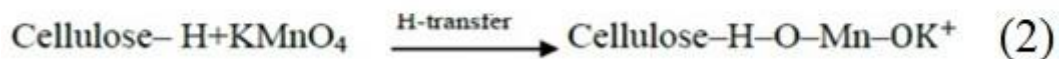


Figure 20: Structure typique de la fibre (i) non traitée et (ii) traitée [37]

II .6.2) Traitement par permanganate de potassium :

Le traitement au permanganate, basé sur l'action des ions MnO_4^- , consiste à générer des sites radicalaires au sein de la structure cellulosique des fibres naturelles. Cette approche a pour objectif d'accroître la réactivité de la cellulose, favorisant ainsi son interaction avec les matrices polymères et améliorant l'adhésion interface dans les matériaux composites. (L'équation 2et3). [39].



En général, ce type de traitement est effectué en utilisant du permanganate de potassium (KMnO_4) en solution (dans l'acétone) à différentes concentrations, avec une durée de trempage allant de 1 à 3 minutes, après un prétraitement alcalin. Ainsi, le caractère hydrophile des fibres naturelles est réduit, ce qui entraîne une diminution de l'absorption d'eau par le composite renforcé avec ces fibres. La tendance hydrophile des fibres diminue avec l'augmentation de la concentration de KMnO_4 . Cependant, à des concentrations supérieures à 1 %, on observe une dégradation de la fibre naturelle [39].

II .6.3) Traitement par silane

Le silane est un composé chimique représenté par la formule SiH_4 . Les silanes sont utilisés comme agents de couplage pour assurer la stabilité du composite en favorisant l'adhérence entre les fibres et la matrice polymère. De plus, ils permettent de réduire le nombre de groupes hydroxyles de la cellulose à l'interface entre la fibre et la matrice (Voir équation (4))[37].



De plus, le traitement au silane améliore la résistance à la traction du composite, réduit l'impact de l'humidité sur ses propriétés et renforce l'adhérence entre les fibres et la matrice, ce qui contribue à augmenter la résistance globale du composite [37]

II .6.4) Traitement avec les acides acryliques et méthacrylates

Les acides acryliques et méthacrylates présentent une structure similaire avec celle de l'anhydride maléique, la Figure 21 montre la modification chimique des fibres cellulosiques par l'acide acrylique [40].

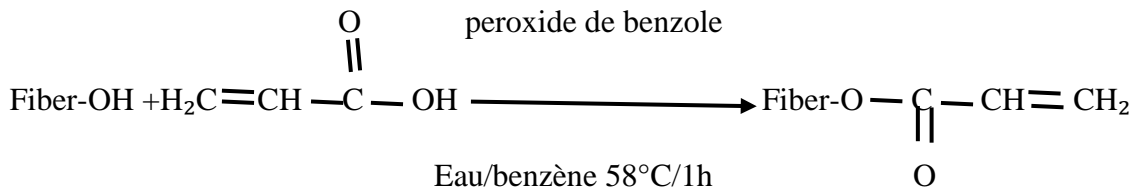
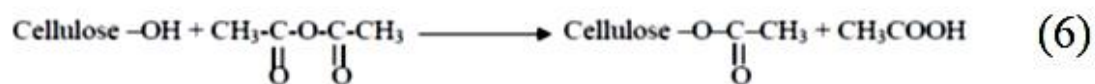
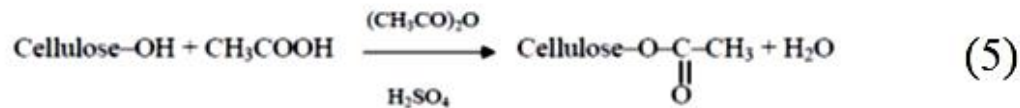


Figure 21: Les modification chimique des fibres cellulosiques par l'acide acrylique [40]

II .6.5) Traitement par acétylation

Le traitement d'acétylation est une méthode utilisée pour modifier la surface des fibres végétales afin de réduire leur caractère hydrophile. Le principe de ce traitement consiste à faire réagir les groupes hydroxyles (-OH) présents dans la fibre avec des groupes acétyle ($\text{CH}_3\text{CO}-$). Cette substitution modifie les propriétés de la fibre et lui confère une surface hydrophobe. Les groupes hydroxyles impliqués dans la réaction proviennent à la fois des composants minoritaires de la fibre tels que les hémicelluloses et la lignine, ainsi que de la cellulose amorphe. [26]. Les groupes hydroxyles des régions cristallines de la fibre sont fortement compacts en raison de liaisons intermoléculaires solides, ce qui les rend inaccessibles aux réactifs chimiques. Les réactions d'acétylation, avec catalyseur acide et sans catalyseur acide, sont illustrées respectivement dans l'équation 5 et 6. Puisque l'acide acétique ne réagit pas facilement avec la cellulose, il est préférable de le substituer par de l'anhydride acétique

[26]. Pour accélérer la réaction, les fibres peuvent être préalablement immergées dans de l'acide acétique, puis traitées avec de l'anhydride acétique pendant une durée de 1 à 3 heures [26]. (Voir l'équation 5 et 6) :



II .7) Orientation des fibres

L'orientation des fibres influence fortement les propriétés mécaniques des composite . 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 [34].

- 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

Le tableau 4 représente les Propriétés morphologiques de quelques fibres végétales

Tableau 4: Propriétés morphologique de quelques fibres végétales [41]

Fibre	Taille de la fibre (mm)	Diamètre de la fibre (μm)	Taux de la fibre
Cotton	35	10 – 45	30-50%
Lin	4 – 77	5 – 76	40-60%
Chanvre	5 – 55	10 – 51	40-60%
Kenan	2,5 - 4,5	14 – 33	30-50%
Jute	2,5	5 – 25	30-50%
Sisal	900	8-50	30-50%
Rami	900 - 1200	20 - 80	40-60%
Noix de coco	0 ,3-1	12-24	20-40%

II.8) Domaine d'application

Les matériaux composites ont de nombreuses utilisations dans divers domaines en raison de leurs bonnes propriétés telles que la rigidité, la légèreté et la résistance aux contraintes mécaniques et thermiques.

II .8.1) Domaine industrie des bateaux

Les matériaux composites sont utilisés dans la construction de bateaux en raison de leur légèreté et de leurs propriétés de résistance (Figure22). Comme les coques de bateau et les pièces intérieures (sièges, cloisons, mobilier intérieur, etc.) L'utilisation de matériaux composites dans la construction de bateaux permet de réduire le poids du bateau et offre une meilleure résistance à la rouille et à la corrosion et à la chaleur. Ce type de construction actuelle est réalisé à partir d'un moule sur lequel on superpose des couches de fibre de verre et de résine.



Figure 22:Matériaux composites dans les bateaux (Bateaux cassé M'sila), photo CHEBABHI. N, 2025

II .8.2) Domaine industrie d'automobile

L'utilisation des composites dans le secteur automobile remonte à des origines relativement anciennes (fin des années 1980), mais ne s'est généralisé que très récemment, chez les grands constructeurs étrangers (Volvo, Mercedes) pour développer des coffres et hayons [42].

II .8.3) Domaine électrique et électronique

Les matériaux composites offrent une excellente isolation électrique, ne produisent pas d'étincelles et possèdent de bonnes propriétés antimagnétiques. Grâce à ces caractéristiques, ils sont largement utilisés dans la fabrication des colonnes de distribution, des tubes isolants, des bagues de retenue électrique, des lampadaires, des poteaux télégraphiques ainsi que des outils pour les travaux sous tension [43].

II .8.4) Domaine de construction

Hormis le béton, les composites ont relativement peu pénétré le secteur du BTP, notamment du fait :

- D'un prix élevé comparativement aux matériaux traditionnels
- D'une relative méconnaissance des architectes et bureaux d'études vis-à-vis des composites
- D'un manque d'information sur le cycle de vie (recyclabilité, durabilité)

Les qualités des composites (légèreté, résistance au feu, résistance mécanique et chimique), permettent de prévoir un développement prometteur. Les fournisseurs de solutions composite sont développés de nombreux produits : Fenêtres, Portes, Substituts d'ardoise, Renforts de poutres, ...etc. [42].

Chapitre III :

Matériels et méthodes

III.1) Introduction

Dans ce chapitre, les différentes étapes expérimentales que nous avons utilisées pour préparer les matériaux composites seront présentées. commençant par Préparation des déchets plastiques (feuillard plastique textile), et traitement des fibres végétales, suivie de la préparation d'échantillons de matériaux composites. Ensuite, nous étudions les caractérisations des fibres après traitement Nous utilisons dans ce chapitre : Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF), Analyse Thermogravimétrique (ATG).

III.2) Matériel utilisés

✓ Hydroxyde de sodium

La soude caustique est un produit fourni par SPECILAB comme illustré dans la figure 23 :

- Formule chimique : NaOH
- Masse molaire : $M = 40 \text{ g.mol}^{-1}$
- Densité (à 20°C) : $2,1 \text{ g.cm}^{-3}$.
- Etat et couleur : solide de formes variables, blanc.



Figure 23: Flacon d'hydroxyde de sodium

✓ **Ethanol :**

L'éthanol est utilisé dans la préparation de phénolphtaléine.

- Formule chimique : C_2H_6O
- Masse molaire : 46,07 g/mol
- Densité (à 20°C) : 0,805 à 0,811g. cm^{-3} .

✓ **L'acide acétique**

L'acide acétique est utilisé pour éliminer les traces de soude (Figure24).

- Formule chimique : $C_2H_4O_2$
- Masse molaire : $M = 60.04$ g/mol
- Etat et couleur : liquide incolore
- Densité (à 20°C) : 1.0480 à 1.051g. cm^{-3} .

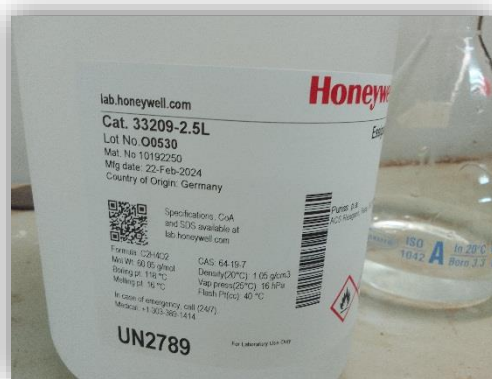


Figure 24:Flacon de l'acide acétique

✓ **Phénolphtaléine**

La phénolphtaléine est utilisée comme indicateur pour vérifier la nature de l'eau de rinçage (acide/basique)

- **Formule** : $C_{20}H_{14}O_4$
- **Masse molaire** : 362,28 g/mol
- **Densité** : 1,300 g/cm³
- **Etat et couleur** : cristaux blancs
- **Point de fusion** : 258 à 263 °C

III.2.1) Feuillard plastique textile (PET)

III. 2 .1.1) Préparation des déchets feuillard

Au départ, nous avons collecté des déchets de Feuillards plastiques textiles provenant de diverses sources. Nous les avons ensuite triés pour nous assurer qu'ils étaient propres et exemptes d'impuretés. Ensuite, nous avons utilisé des ciseaux à main solides pour couper le Feuillards plastiques en longueurs de 0.5cm. Le processus a été réalisé avec soin pour obtenir des pièces homogènes comme le montrent les Figures 25 :



Figure 25: Préparation de feuillard plastique

III.2.1.2) Traitement des déchets de feuillard Plastique (PET)

Nous avons procédé au traitement des déchets de feuillard plastique à l'aide d'une solution de soude caustique (NaOH). Pour cette opération (Figure26), nous avons utilisé 500g de NaOH dans 5litter de l'eau distillée, Laissez-le pendant 30 minutes avec agitation continue. Nous le lavons 03 fois à l'eau du robinet et quatrième fois à l'eau distillé, afin de faciliter la dégradation ou le nettoyage des résidus plastique. Cette méthode permet d'éliminer les impuretés et de préparer le matériau pour une utilisation dans les matériaux composites.

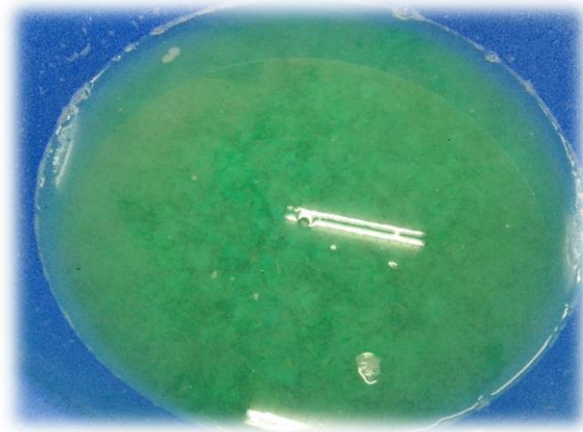


Figure 26: Traitement des déchets feuillard

III.2.2) Fibres de *Posidonia oceanica*

a) Définition

Posidonia oceanica est une plante marine vivace enracinée dans les sédiments sableux ou rocheux. Elle forme des prairies marines dans la mer Méditerranée et est caractérisée par ses longues feuilles plates. Elle pousse entre 1 et 40 mètres de profondeur [44].

b) Importance écologique

- Biodiversité : habitat pour de nombreuses espèces marines [45].
- Lutte contre l'érosion : stabilise les sédiments.
- Séquestration du carbone : réduit les gaz à effet de serre.
- Filtration de l'eau : améliore la qualité de l'eau [46].

d) Caractéristiques biologiques

Les feuilles sont longues et plates. Les racines ancrent la plante au sol marin. Les fleurs sont discrètes, vertes et libèrent des graines dispersées par les courants [44].

III.2.2.1) Traitement des fibres de *Posidonia oceanica* par NaOH

Nous préparons quatre solutions de NaOH de 20 ,40g,60g, et 80g dans 1000ml d'eau distillée (Figure27)

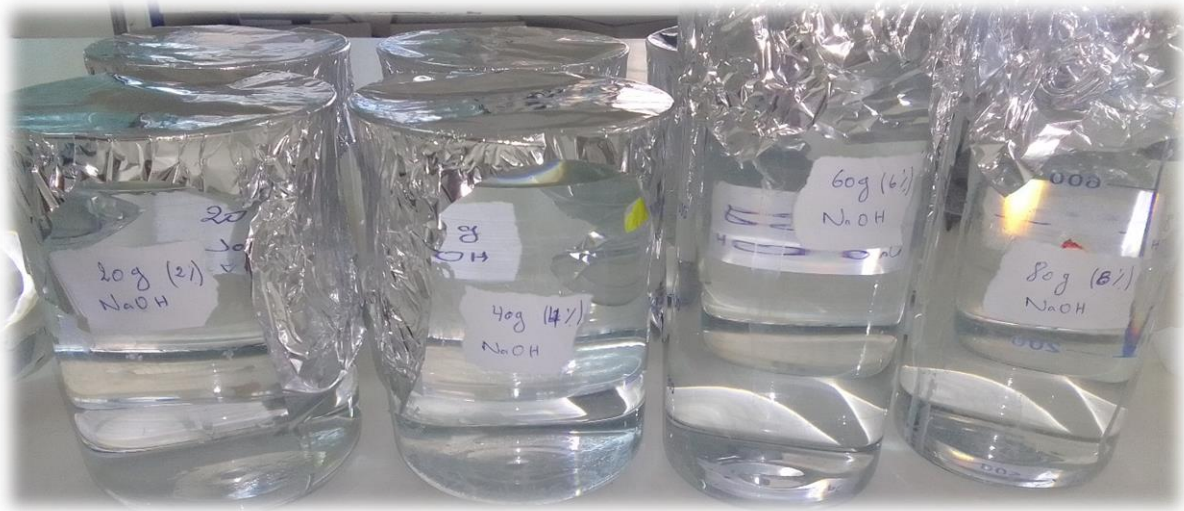


Figure 27:Préparation des solutions NaOH à différentes concentrations

1. Immerger 30 g de fibres dans 1000 ml de solution de NaOH (Figure28)
2. Laisser sous agitation à température ambiante pendant 5 heures.
3. Laver les fibres à l'eau de robinet deux fois (Figure29)
4. Retirer les fibres et les laver immédiatement avec de l'eau distillée jusqu'à obtenir un Ph neutre (~7).
5. Pour neutraliser les résidus alcalins, tremper les fibres dans une solution d'acide acétique dilué (1%) pendant 10 minutes.
6. Rincer à nouveau avec de l'eau distillée.
7. Sécher les fibres traitées dans L'aire à l'abri de la lumière à 20 jour

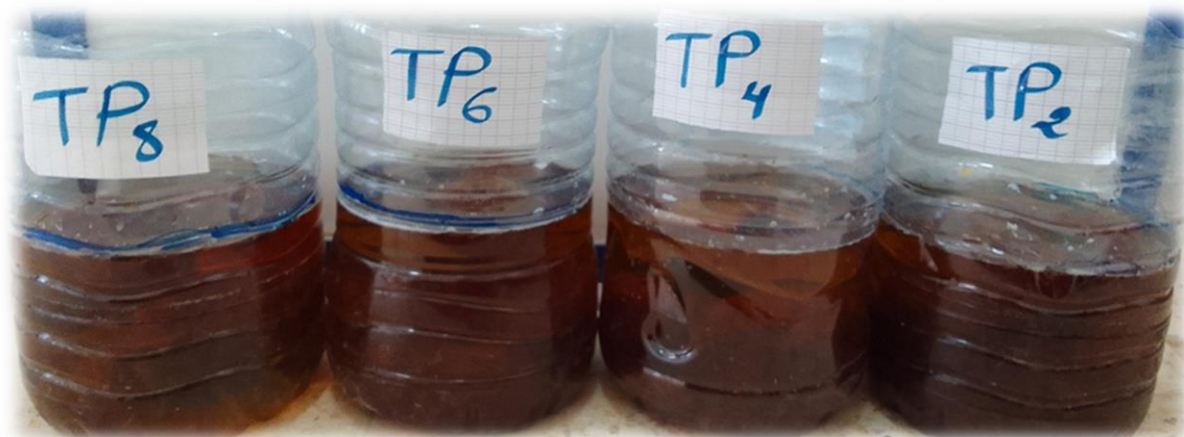


Figure 28 : Traitement des fibres avec une solution de NaOH à 5 h à différents concentrations



Figure 29 : Lavage de fibre

III.2.2.2) Dispositif de broyage

Après le traitement chimique, les fibres de *Posidonia oceanica* sont laissées sécher quelques jours, puis broyées en petits morceaux et broyées dans une rectifieuse automatique pour préparer des échantillons à tester. (Figure30)

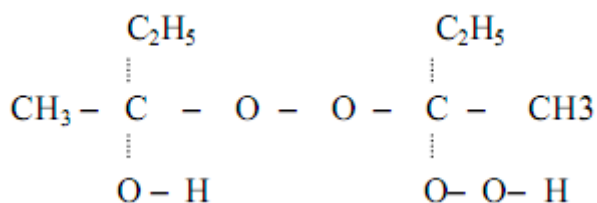


Figure 30:Préparation des échantillons à tester

III.2.3) Polyester insaturé

La **PRE-631 TAB** est une résine polyester insaturée à viscosité variable (thixotropique), utilisé avec la fibre de verre pour la fabrication de pièces et composants industriels tels que les réservoirs, moules, bateaux et pièces automobiles. Elle nécessite l'ajoute d'un catalyseur (durcisseur) pour initier la réaction de polymérisation. (Figure31)

L'**AKPEROXA50** est une solution active de peroxyde de méthyl éthyle cétone (PMEC) utilisée pour accélérer la polymérisation des résines polyester à température ambiante. Il est essentiel dans les applications de stratification, moulage et fabrication de composite sa formule est la suivante :



Dosage :

1% et 3% du poids de la résine

C'est-à-dire Pour 1Kg de résine utiliser 10 à 30 g d'AKPEROXA50(durcisseur). Le tableau 5 représente Propriétés de polyester insaturé.



Figure 31 : Résine polyester et le durcisseur

Tableau 5 : Propriétés de polyester insaturé

Propriété	Valeur typique
Aspect	Liquide visqueux, en Couleur bleue
Type	Résine polyester insaturée ortho phtalique
Densité à 25°C	1,2 g /cm ³
Viscosité à 25°C	800-500 Mpa.s
Indice d'acide	30-25 mg KOH /g
Point d'éclair	31< °C
Temps de gel	25-15 min
Température de transition vitreuse (Tg)	80-60°C
Temps de durcissement	50-70 minutes
Pic exothermique	100-120 minutes

III.2.4) Fibre de verre

Les fibres de verre sont des fils très fins de verre utilisés comme matériau de renforcement dans les composites, notamment avec les plastiques, pour leur légèreté et leur résistance (Figure32). Elles sont couramment utilisées dans les domaines de l'automobile, de l'aéronautique et les bateaux. On distingue trois types de fibres [47] :

- E : pour les composites de grande diffusion et les applications courantes ;
- R : pour les composites hautes performances ;
- D : pour la fabrication de circuits imprimés (propriétés diélectriques)



Figure 32:Fibre de verre

III. 3) Préparation d'un matériau composite

III. 3.1) Préparation du moule

Le moule utilisé dans la préparation des fibres étudiées forme carrée de dimensions $(30 \times 30 \times 1 \text{ cm}^3)$ (Figure33). La base est nettoyée avec un matériau antiadhésif (Figure34) pour combler les éventuels espaces latéraux. Ensuite, le moule est recouvert d'un matériau. Lubrification pour éviter que les matériaux composites ne collent au moule résultant de la préparation.



Figure 33: Le moule utilisée pour préparer les échantillons

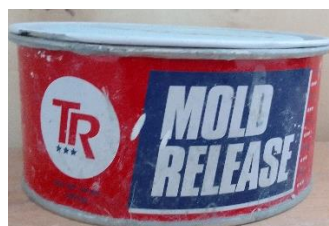


Figure 34:La matériau antiadhésif

III.3.2.1) Préparation des échantillons

Après avoir préparé le moule, nous préparons l'échantillon de référence de l'usine.

1) Nous coupons la fibre de verre sur toute la longueur du moule, puis nous la pesons. Le poids de chaque type de fibre de verre est :

$$m(300) = 62g \quad m(400) = 111g \quad m(600) = 123g$$

2) Nous avons utilisé 1Kg de la résine et 30g de durcisseur, remuez le mélange pendant quelques minutes jusqu'à ce qu'il soit homogène.

Nous mettons la première couche (300) dans le moule, puis nous ajoutons la résine par-dessus. Nous passons l'épilateur jusqu'à éliminer les bulles. Nous attendons une demi-heure jusqu'à ce que cela sèche, puis nous mettons la deuxième couche (400), puis la résine et la dernière couche (600). Nous continuons à utiliser le rouleau à bulles jusqu'à élimination complète des bulles. (Figure35)



Figure 35: Les étapes de préparation d'échantillon référent

III.3.2.2) : Préparation nos propres échantillons

Nous coupons la fibre de verre sur toute la longueur du moule, puis nous la pesons. Le poids de chaque type de fibre de verre et les déchets plastique, fibre végétale

$$m(300) = 62g \quad m(400) = 111g \quad m(600) = 123g$$

$$m(\text{fibre végétale}) = 13g \quad m(\text{déchets plastique}) = 100g$$

III.3.2.2.1) l'échantillon de déchets plastique :

Nous mettons la première couche (300) dans le moule puis nous mettons de la résine par-dessus. Nous passons l'épilateur jusqu'à éliminer les bulles et nous mettons des déchets plastique attendons une demi-heure jusqu'à ce que cela sèche, puis nous mettons la deuxième couche (400), puis la résine et la dernière couche (600). Nous continuons à passer l'épilateur jusqu'à ce que nous nous débarrassions complètement des bulles. (Figure 36)



Figure 36: Les étapes de préparation des échantillons de déchets plastique

III.3.2.2.2) Les échantillons de déchets plastique avec les *Posidonia oceanica* traitées et non traitées :

Nous mettons la première couche (300) dans le moule puis nous mettons de la résine par-dessus. Nous passons l'épilateur jusqu'à éliminer les bulles et nous mettons des déchets plastique avec les fibres végétales non traitées et traitées (2%, 4%, 6%, 8%) attendons une demi-heure

jusqu'à ce que cela sèche, puis nous mettons la deuxième couche (400), puis la résine et la dernière couche (600). Nous continuons à passer l'épilateur jusqu'à ce que nous nous débarrassions complètement des bulles. (Figure37)



Figure 37: Les étapes préparation des échantillons de déchets plastique avec les fibres végétales

III.4) Matériel de caractérisation

III.4. 1) Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF) :

C'est une technique efficace qui permet d'étudier les propriétés chimiques et structurales, dans le but d'identifier des groupes fonctionnels. Trouvé dans divers échantillons de fibres de *Poisidonia oceanica* (Figure38). Cette méthode vise à étudier les changements résultants des traitements chimiques utilisés. Les spectres d'absorption sont obtenus dans la plage comprise entre 400 cm^{-1} et 4000 cm^{-1} . Et les échantillons utilisés proviennent de *Poisidonia oceanica*

traités et non traités. La méthode d'obtention des échantillons consiste à préparer des comprimés par un procédé de pression. Cela se fait de la manière suivante : Nous broyons les échantillons dans un broyeur électrique pour obtenir une poudre fine. Puis je l'ai tamisé à travers un tamis, Mélangez ensuite 4 mg de chaque échantillon avec 96 mg de poudre Bromure de potassium (KBr) préséché dans un four électrique à 115°C pendant 12 h, Il est placé les échantillons sont placés dans un moule cylindrique puis comprimés dans une presse hydrostatique en disques (80 KN). Pendant 10 minutes, nous séparons ensuite les disques échantillons du moule à tester. [48]



Figure 38: Spectromètre infrarouge (FTIR)

III.4. 2) Analyse Thermogravimétrique

L'analyse thermogravimétrique (ATG) est une méthode d'analyse thermique permettant de mesurer avec précision les variations de masse d'un échantillon en fonction du temps et de la température (Figure39). Elle permet d'identifier les pertes de masse liées à des phénomènes tels que la déshydratation, la décomposition ou l'oxydation des matériaux. Dans cette étude, l'ATG a été utilisée pour évaluer la teneur en eau des substrats celluloseux (fibres et leurs constituants), ainsi que pour déterminer leur domaine de dégradation thermique. Les propriétés thermiques des fibres ont ainsi été caractérisées afin de suivre l'évolution de leur stabilité thermique.



Figure 39:AppareilATG [49]

III.4. 3) Machine d'essai de traction :

Cet essai est réalisé en étirant l'éprouvette par les deux extrémités (fixées verticalement et centrées entre les mâchoires) dans un dispositif (Figure40). L'essai est réalisé en appliquant une force de traction jusqu'à la rupture de l'échantillon.[50] [48]

Changement géométrique (déformation) : $\varepsilon = \frac{L_f - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0}$ 1)

L_0 : Longueur primaire

L_f : Longueur finale

La résistance aux contraintes est donnée par la relation :

$\sigma = \frac{F}{S_0}$ 2)

F : résistance à la traction(N) S_0 : L'espace restreint

Module de Young: $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$ 3)



Figure 40: Machine d'essai de traction

III.4.3.1. Préparation des éprouvettes de test de traction :

Le composite obtenue on été couper avec un disque de diamant selon les normes ASTM : D3039

les dimensions sont de $(250 \times 25 \times 6 \text{ mm}^3)$ (Figure41). Le tableau 6 représente Codage des différents échantillons composites étudiés.

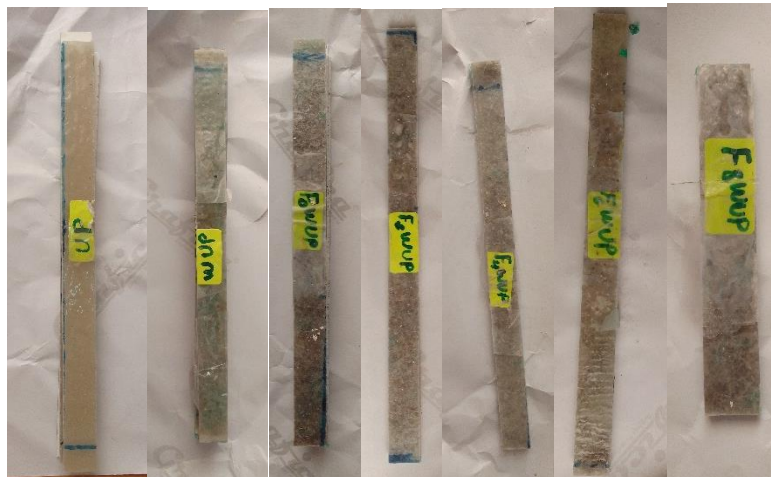


Figure 41: Les éprouvettes de test de traction

Tableau 6: Codage des différents échantillons composites étudiés

Code des composites	Formulation
UP	Polyester insaturés
WUP	Déchets plastique avec Polyester insaturés
F0WUP	Fibre non traitée avec polyester insaturé
F2WUP	Fibre traitée (2% NaOH) avec polyester insaturés
F4WUP	Fibre traitée (4% NaOH) avec polyester insaturé
F6WUP	Fibre traitée (6% NaOH) avec polyester insaturé
F8WUP	Fibre traitée (8% NaOH) avec polyester insaturé

Chapitre IV :
Résultats
et Discussion

IV.1) Introduction

Ce chapitre analyse Les résultats obtenus à partir des échantillons préparés. Différentes techniques de caractérisation ont été utilisées. Ces techniques comprennent des essais effectués sur les fibres de *Posidonia oceanica*, tels que la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR), l'analyse thermogravimétrique (TGA). Le chapitre inclut également l'étude des propriétés mécaniques des matériaux composites élaborés, à travers des essais tels que l'essai de traction et l'essai de flexion en trois points.

IV.2) Caractérisation de la fibre *Posidonia oceanica*

IV.2.1) Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF)

Le graphique (Figure42) représente les spectres IRTF (Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier) pour 5 échantillons différents : TP0, TP2, TP4, TP6, TP8.

On observe à 3748 cm^{-1} - 3283 cm^{-1} la présence de groupes hydroxyles (liaisons O–H) dans la cellulose et l'hémicellulose, avec une bande large dans les échantillons non traités (TP0) qui devient plus nette à mesure que la concentration en NaOH augmente, indiquant la libération de la cellulose après élimination des autres composants [51]. La bande à 2869 cm^{-1} , associée aux liaisons C–H aliphatiques des cires et des graisses, montre une diminution progressive de son intensité après traitement, ce qui signale l'élimination des substances cireuses en surface [52]. Le pic à 1842 cm^{-1} , correspondant aux liaisons C=O de l'hémicellulose, est présent dans TP0 et TP2, mais disparaît presque complètement dans TP6 et TP8, ce qui traduit la rupture des liaisons ester sous l'effet de l'alcalin [53]. À 1436 cm^{-1} , les liaisons C=C aromatiques de la lignine sont observées dans les échantillons bruts et diminuent avec le traitement, reflétant ainsi la dégradation progressive de la lignine [52]. Le pic à 1034 cm^{-1} , représentant les liaisons C–O–C (liaisons glycosidiques) dans la cellulose et l'hémicellulose, montre une stabilité relative, ce qui indique que la cellulose reste intacte comme composant principal, tandis que l'hémicellulose subit une dégradation partielle [51].

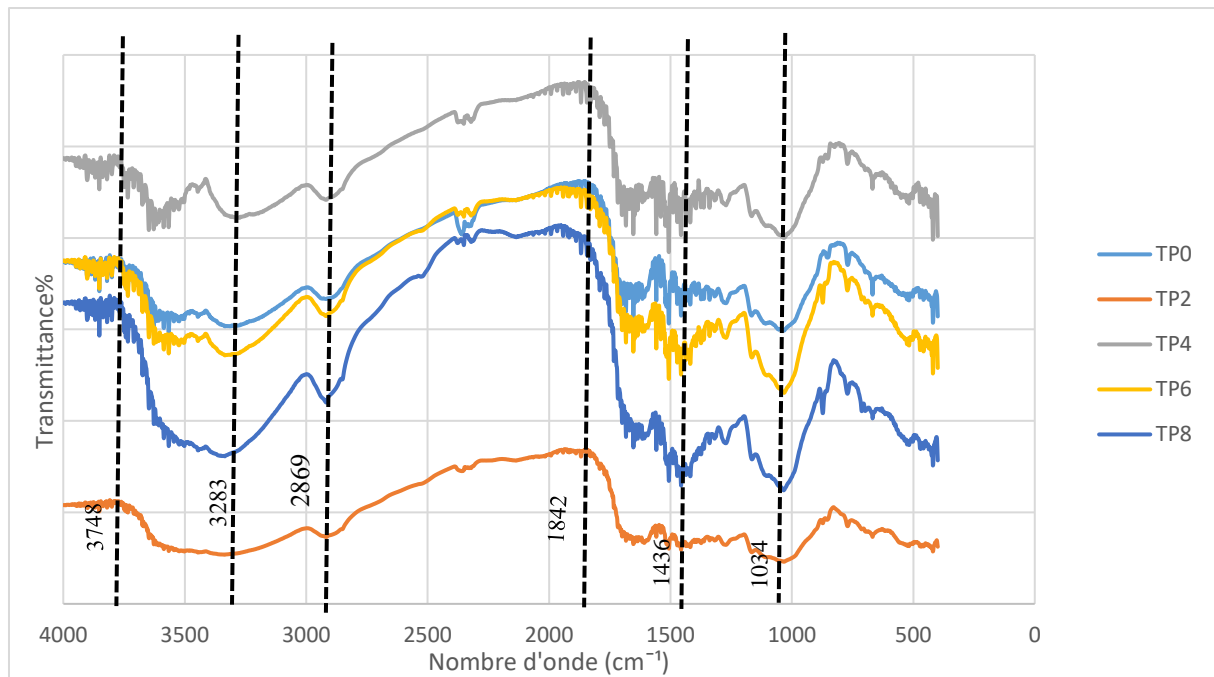


Figure 42: Spectre infrarouge de fibre *Posidonia oceanica* non traitées et traitées à (2,4,6,8% NaOH).

IV.2.2) Analyse thermogravimétrique (ATG) :

La Figure 43 représente l'ATG. Chaque courbe représente un échantillon différent : TP0, TP2, TP4, TP6, TP8.

Ce graphique montre l'évolution de la perte de masse des échantillons en fonction de la température. Analyse par zones de température :

Les résultats de l'analyse thermique des échantillons (TP0, TP2, TP4, TP6, TP8) montrent différents comportements en fonction des plages de température. Dans la Zone 1 (25 –150°C), tous les échantillons présentent une faible perte de masse (~5%), principalement liée à l'évaporation de l'humidité, sans effet significatif du traitement au NaOH [54]. Dans la Zone 2 (150–300°C), où l'hémicellulose se dégrade thermiquement, les échantillons TP6 et TP8 subissent une perte de masse plus rapide en raison de l'élimination partielle de l'hémicellulose par le NaOH [55]. La Zone 3 (300–500°C) correspond à la dégradation de la cellulose, et ici, TP6 et TP8 montrent une perte de masse importante, tandis que TP4 présente un niveau intermédiaire et TP2 ainsi que TP0 une perte plus lente. TP0, non traité, conserve la plus grande résistance thermique [56]. Enfin, dans la Zone 4 (>500°C), la décomposition de la lignine et des résidus carbonés se produit, avec TP0 ayant la masse résiduelle la plus élevée, suivi de TP2. TP6 et TP8, quant à eux, ont pratiquement perdu toute leur masse [57].

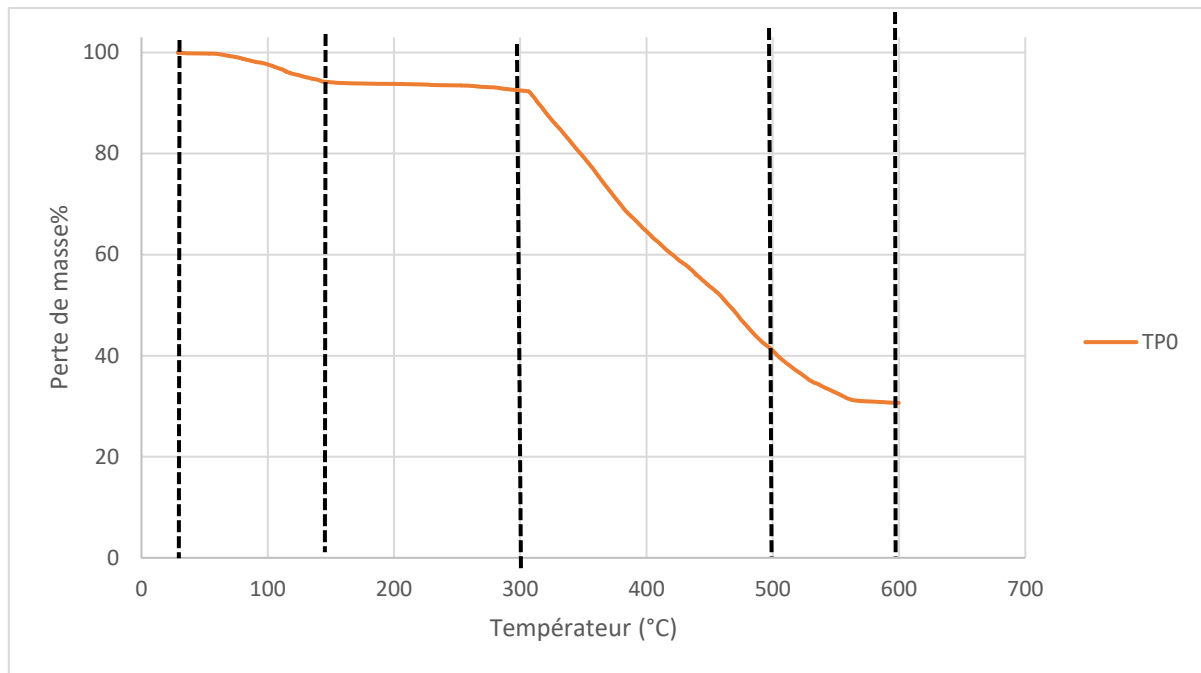


Figure 43: courbe thermogravimétrique (ATG) de fibre *Posidonia oceanica* non traitées et traitées à (2,4,6,8% NaOH)

IV.3) Propriétés mécaniques des composites

IV.3.1) La résistance à la traction

L'essai de traction est l'un des essais mécaniques nécessaires, qui mesure le degré de capacité du matériau à résister aux forces qui l'affectent et qui tentent de le tirer et de le casser. L'essai de traction a été réalisé pour les échantillons préparés traités et non traités. A travers les formes des courbes pour les essais de traction. La Figure 44 : on remarque la valeur la plus élevée Pour la contrainte de l'éprouvette F8WUP($\sigma=54,69\text{MPa}$) par rapport à la valeur de contrainte de l'éprouvette non traité F0WUP($\sigma=47,50\text{MPa}$). Le montant de l'augmentation est de 13,14%. Avec l'augmentation de la traction, les fibres traitées avec la résine présentent une meilleur résistance grâce à une fort adhésion, contrairement aux fibres non traitées qui se détachent facilement.

IV.3.2) Module de Young

Le Module de Young a été calculé à partir de la relation 3. Les résultats du calcul sont les suivant $E(\text{F8WUP}) = 22,24\text{GPa}$ et $E(\text{F0WUP}) = 21,90\text{GPa}$.

Le montant de l'augmentation est de 1,53 % par rapport à le composite non traite.

($X\% = ((22,24 - 21,90) / 22,24) * 100$). Cela indique que le traitement joue un rôle majeur dans l'amélioration des propriétés mécaniques des matériaux composites.

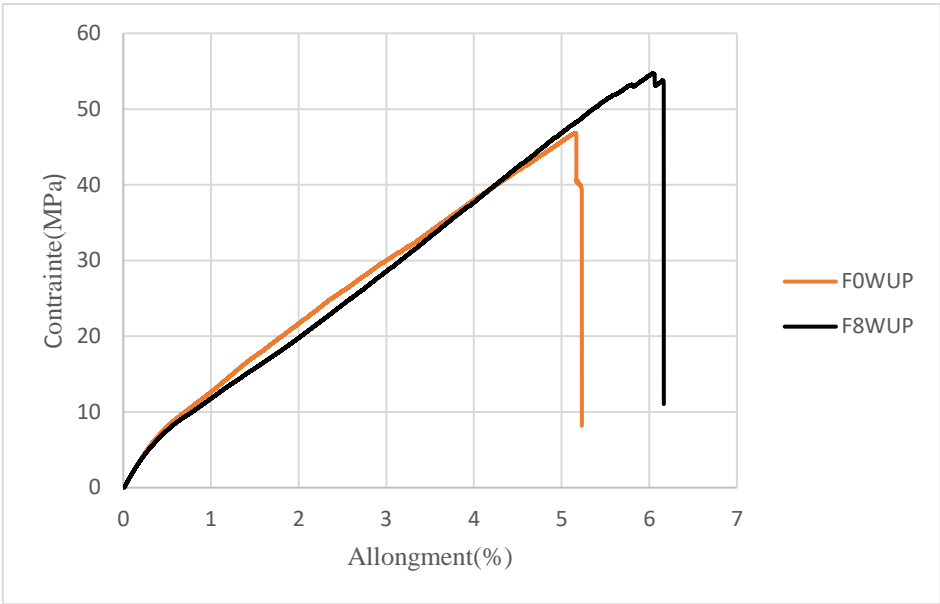


Figure 44:Essai de traction l'eprouvetteF0WUP et F8WUP

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale :

Ce travail a permis valoriser aux déchets de feuillard plastique en les transformant en un matériau composite innovant, renforcé par des fibres végétales. Cette combinaison offre non seulement une solution écologique mais aussi de bonnes propriétés mécaniques. L'objectif de cette étude était de préparer des composites à base de polyester insaturé renforcé par des fibres *Posidonia oceanica*. Afin d'améliorer l'efficacité mécanique, nous avons traité les fibres avec une solution de soude à différentes concentrations (2,4,6,8%). Le but de ce traitement est d'améliorer l'efficacité mécanique du matériau composite préparé, ce qui améliore l'adhésion.

A travers notre étude, nous pouvons extraire les observations suivantes :

- Les tests infrarouges ont montré que le temps de traitement alcalin de la fibre *Posidonia oceanica* a contribué à l'élimination d'une partie de l'hémicellulose et de la lignine.
- Le test thermogravimétrique (ATG) a montré que le traitement alcalin provoque aussi une augmentation de la température de début de dégradation et par conséquent une amélioration de la stabilité thermique des fibres *Posidonia oceanica*. La température ne doit pas dépasser 300 °C pour les fibres non traitées et 250 °C pour les fibres traitées.
- Le test de traction montre que le meilleur composite est celui qui est traité avec NaOH à 8 %. Le traitement alcalin améliore l'adhésion interfaciale entre les fibres *Posidonia* et la matrice polymère, entraînant ainsi la résistance à la traction et le Module de Young.

Enfin, les composites préparés et renforcés par des fibres végétales représentent des matériaux prometteurs pour l'avenir, pouvant constituer une alternative adéquate aux composites renforcés par des fibres synthétiques.

Référence

Référence :

- 1)P. Pichet., (1995), La gestion des déchets, un exposé pour comprendre un essai pour réfléchir. Collection Dominos/ Flammarion, 124 p
- 2)Rey, (1992), Le Robert dictionnaire d'aujourd'hui, Paris, Robert
- 3)A. Amani. (2022). Elaboration D'une Méthodologie De Gestion Des Déchets Solides Urbains. Université Larbi Tébessa – Tébessa.
- 4)Y. Sané. (2002). La gestion des déchets à Abidjan : un problème récurrent et apparemment sans solution ; AJEAM/RAGEE ; Vol. 4 N°1 ; 13-22.
- 5)O.F. Kofoworola, (2007). Recovery and recycling practices in municipal solid waste Management in Lagos, Nigeria, Waste Management 27 (9), 1139–1143.
- 6)D.Lhuillier et Y. Cochin., (1999), Des déchets et des hommes, Paris : Desclée de Brouwer, 185p
- 7)L. Brik et A. Guerriche, La valorisation des déchets 2021
- 8)- م. ن. نحاس، "أحدث التطورات في مجال المواد المركبة – المواد المركبة الصديقة للبيئة والقابلة لإعادة الاستخدام"، 111 مجلة جامعة الملك عبد العزيز للعلوم الهندسية، م، 16 ع، 1 ص، 1
- 9)M. O. H. Pereira, P. H. F., Rosa, M. D. F., Cioffi, fibres végétales Les composites polymères : une revue. Polymères. 2015
- 10)M. Farsi, "Matrice thermoplastique renforcée de fibres naturelle : une étude sur le comportement interfacial, dans some critical issues for injection molding "2022
- 11)Ministère de l'environnement de la Colombie-Britannique, gestion des déchets industriels
- 12)LES GUIDES CGEM guide d'information «déchets industriels» p 9
- 13){Adjoudj, 2017 #11 }
- 14)P. WEISS, La chimie des polymères - Université Médicale Virtuelle Francophone)
- 15)G. Saoudi ; F.Z. Mehenni dirigé par Mme S. Almi ; <L'étude des polymères> ; mini projet De fin d'étude licence en génie des procédés ; Université Mohamed kheider ; Biskra ;(2012).
- 16)Michel Fontanelle -Yves Gnanou, chimie et physico-chimie des polymères, Dunod paris 2010
- 17)A, Nechad. Elaboration d'une membrane de filtration d'eau à base de polyéthylène basse densité et de gypse de Bouzgaïa, mémoire de magister, Université Hassiba Ben Bouali, Chleff, 2008/2009
- 18)L. Boukezzi. Influence du vieillissement thermique sur les propriétés de polyéthylène Réticulé Chimiquement utilisé dans l'isolation des câbles de haute tension, thèse de doctorat, Ecole Nationale Polytechnique, 2007.
- 19)M. M, Jérôme. Synthèse et caractérisation de silicates de calcium hydratés hybrides,

- Thèse de Doctorat, Université de Paris UFR scientifique d'Orsay, Paris, 2003.
- 20)S, Fûzesséry. Polyéthylène basse densité, Techniques de l'ingénieur, A 3310,1-34
- 21)F. Michaud, "Rhéologie de panneaux composites bois/thermoplastiques sous chargement thermomécanique : Aptitude post formage" thèse PhD, université Laval, 2003
- 22)O. B. A. Oyetayo Folake Lucy*, "Valeur alimentaire et composition phytochimique de la farine de graines de luffa cylindrica"
- 23)A. Sbiai, Matériaux composites à matrice époxyde chargée par des fibres de palmier dattier : EFFET de L'oxydation au tempo sur les fibres. 2011.
- 24)J. William D. Callister, science et ingénierie des matériaux : une introduction .2007
- 25)C. Moine, "extraction, caractérisation structurelle et valorisation d'une famille d'hémicelluloses du Bois. Obtention de matériaux plastiquesPar modification des xylènes," Université de Limoges, 2005
- 26)K. Borchani, Développement d'un composite à base d'un polymère biodégradable et de Fibres extraites de la plante d'Alfa, Lyon, 2016.
- 27) العدد, 1111, 31د. ح. م. س. انوير، "دراسة مفصلة للتعريف بالمواد المركبة وبعض تطبيقاتها،" المجلة الدولية للعلوم والتقنية
- 28) إ. د. إ.أ. د. م.د. أمين، خواص المواد واختباراتها
- 29) A. Ben khedda, Effet de la contrainte thermique sur l'endommagement transversal d'un matériau hybride Lin-Chanvre/Polyéthylène, Master, Université de Saida, (2019).
- 30)M. Jean Berthelot mécanique et analyse des structure 5°édition 2012 Lavoisier Paris IBBN : 978-2-7430-14507
- 31)Y. Djebloun, Généralité sur les matériaux composites, Université de Biskra, 2004
- 32)M. Jean – Berthelot, mécaniques des matériaux et structures composites.2013.,
- 33) Y.Djebloun, Contribution à la caractérisation des matériaux composites renforcés de fibres végétales 2018
- 34)S. Bouzouita, « optimisation des interfaces fibre-matrice de composites à renfort naturel », école centrale de Lyon, France, janvier 2013.
- 35)L. Drzal.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.
- 36) S. Kalia, B.S. Kaith, I. Kaur; Pretreatments of natural fibers and their application as reinforcing material in polymer composite; Polym. Eng.sci 49, 7(2009)1253-1272
- 37) L.Y. Mwaikambo, M.P. Ansell, Chemical modification of hemp, sisal, jute, and kapok Fibers by alkalization, Journal of applied polymer science, 84 (2002) 2222-2234.

- 38) M. Kabir, H. Wang, K. Lau, F. Cardona, Chemical treatments on plant-based natural Fibre reinforced polymer composites: An overview, *Composites Part B: Engineering*, 43 (2012) 2883-2892.
- 39) N. Chand, M. Fahim, *Tribology of natural fiber polymer composites*, Woodhead Publishing 2020.
- 40) S. Nedjma, Effet De La Modification Chimique Des Déchets Ligno-cellulosiques Sur Les Propriétés Physico-Chimiques Des Composites Pvc/Papier Journal, Thèse De Doctorat, Université de Bejaia, 2014
- 41) L. Yahiaoui " Caractérisation d'un composite à la rupture à base des fibres végétales (Disse)" thèse de MAGISTRE 2011
- 42) G. Daniel, *Matériaux Composites 4ème Edition*, Hermès 2009
- 43) A. Fadel, Influence des diverses modifications du Genêt d'Espagne sur les propriétés mécaniques, rhéologiques et thermiques de composites à matrice thermoplastique, 2018.
- 44) E. Balestri, & F. Cinelli, (2003). Population structure of *Posidonia oceanica*. *Aquatic Botany*, 75(3), 285-296.
- 45) C.M. Duarte, (2002). The role of *Posidonia oceanica* in coastal ecosystems. *Mediterranean Marine Science*, 3(1), 1-12
- 46) F.T Short, & S. Wyllie-Echeverria, (1996). Disturbance of seagrasses. *Environmental Conservation*, 23(1), 17-27.
- 47) CARMA « Glossaire des matériaux composites » Actualisation octobre 2006
- 48) C. W. and Z. X. Zhao-Xuan Ding, Yan-hui Zhang, "Luffa Pretreated by Plasma Oxidation and Acidity to Be Used as Cellulose Films".
- 49) Addour, Y, Caractérisation expérimentale et numérique du comportement mécanique d'un composite à base d'une matrice thermodurcissable renforcés par des fibres végétales de la région de M'sila
- 50) د. س. ع. ص. د. ك. م. ش. و. ق. ع. حمد، "دراسة الخواص الميكانيكية لمواد متراكبة ذات اساس بوليمير مقواه العدد. 1111، 4، بالالياف والدقائق،" مجلة الهندسة والتكنولوجيا.
- 51) K. Kavkler., & A. Demšar. (2011). Examination of cellulose textile fibers in historical objects using FTIR spectroscopy. *Polimeri*, 32(1), 45–49.
- 52) R. Sun, & J. Tomkinson, . (2000). Comparative study of hemicelluloses from rice straw by alkali and hydrogen peroxide treatments. *Carbohydrate Polymers*, 42(2), 111–122
- 53) M. Gualtieri, et al. (2021). Valorisation of *Posidonia oceanica* waste biomass: A review on current knowledge and future perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 280, 124389

- 54) A.K Bledzki, J. Gassan, (1999). Composites reinforced with cellulose based fibres. *Progress in Polymer Science*, 24(2), 221–274.
- 55) H. Yang, R. Yan, H. Chen, Lee, D. H., & Zheng, C. (2007). Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. *Fuel*, 86(12-13), 1781–1788.
- 56) M. Poletto, V. Pistor, A. J. Zattera (2013). Structural characteristics and thermal properties of native cellulose. *Cellulose*, 20(5), 2423–2437.
- 57) R. Rowell, M. (2012). *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*. CRC Press.