

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE 20 AOÛT 1955 SKIKDA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DÉPARTEMENT DE GÉNIE DES PROCÉDÉS



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Génie des procédés

Spécialité : Génie des Polymères

*Etude caractéristique d'un matériau composite à base de
PEHD et la poudre de feuille de cactus épineux(PFCE)*

Soutenu le 02/07/2023

Réalisé par :

Bouachari Meriem

Hocine Chaima

Encadré par :

Pr. Zouaoui Emna

Dr. Gouasmia Abir

Année Universitaire 2022- 2023

Résumé

Les composites évoluent constamment vers des produits moins chers et plus résistants en plus de cela afin de protéger l'environnement et la santé publique. Pour cette raison, nous avons voulu découvrir de nouveaux bio-composite constitués d'une matrice en polyéthylène haute densité et une charge de poudre de feuille de cactus épineux Lorsque nous avons inclus de la poudre de feuille de figue de barbarie dans de la poudre de PEHD À différents pourcentages 5%, 15%, 25%, et nous avons étudié quelque caractéristiques du mélange.

Abstract

Composites are constantly evolving towards cheaper and stronger products on top of that in order to protect the environment and public health. For this reason, we wanted to discover new bio-composites consisting of a high-density polyethylene matrix and a prickly cactus leaf powder filler. When we included prickly pear leaf powder in HDPE At different percentages 5%, 15%, 25%, and we studied some characteristics of the mixture.

ملخص

تتطور المواد المركبة باستمرار نحو منتجات أرخص وأقوى علاوة على ذلك من أجل حماية البيئة والصحة العامة. لهذا السبب، أردنا اكتشاف مركبات حيوية جديدة تتكون من مصفوفة بولي إيثيلين عالية الكثافة وحشو مسحوق أوراق الصبار الشائك. عندما قمنا بإدراج مسحوق أوراق الصبار الشوكي في مسحوق HDPE بنسب مختلفة 5%، 15%، 25% و نحن درسنا بعض خصائص الخليط.

Remerciement

*En premier lieu on remercie le **bon dieu** de nous avoir donné la force et la volonté pour finaliser ce travail.*

*On adresse nos plus vifs remerciements à **nos parents**, pour tous les efforts et sacrifices qu'ils ont fait afin de nous voir réussir.*

*Nous remercions également notre encadrante Madame **Zouaoui Emna** et notre Co-encadrante **Gouasmia Abir** pour leurs aides.*

*Nos remerciements vont également à toute la promotion **2022-2023 de Master 2, Génie des polymères** pour leurs présences et pour les moments de bonheurs passés ensemble.*

Un grand merci pour l'ensemble des membres du jury pour avoir accepté de donner une partie de leurs précieux temps et d'avoir ainsi partagé de leurs savoirs.

*Nous voulons aussi exprimer toute notre gratitude et nos remerciements à toutes les personnes qui nous ont bien aidées durant notre stage dans laboratoire de l'unité de **POLYMED CP2K DE SKIKDA**.*

Enfin, Nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participées de près ou de loin à la réalisation de ce projet.

Merci à tous...



Dédicace

*Grace à dieu tout puissant qui m'a donné le courage, la
volonté et la force pour réaliser ce mémoire.*

Je dédie ce modeste travail

*A mes chers parents pour leurs patiences, leurs amours,
leurs soutiens, et leurs encouragements*

A mes belles sœurs

A mes beaux frères

À mes amis et mes camarades.

*Sans oublier tous les professeurs que ce soit du primaire, du
moyen, du secondaire ou de l'enseignement supérieur.*

Chaima

Dédicace

« Puissant vous garde et vous procure santé, bonheur et longue vie inch'Allah » Avec un cœur plein d'amour et de fierté je dédie ce modeste travail

*A mon idéal père **Aziz***

Ma précieuse offre du dieu qui a sacrifié avec tous ses moyens et possibilités pour avoir accompli ma réussite. Pourriez-vous trouver dans ce travail le fruit de toutes vos peines et tous de vos efforts.

*A ma magnifique mère **Nacira***

La source inépuisable de tendresse, de patience et de sacrifice. La femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse.

*A Mes chers frères **Bilel, Mohamed Lamine, ABD EL Raouf, Youcef** et **Ismail** mes adorable sœur **Yasmina** vous êtes les êtres qui me sont les plus chers au monde.*

*Sans oublier mon binôme **Chaima** compagne de cette aventure pédagogique. Partager ces moments d'étude et de travail fut mémorable et recueillez une amitié sincère.*

MERIEM

Sommaire

Liste des Figures

Liste des Tableaux

Liste des Abréviations

Introduction générale2

Référence bibliographiques.....4

Chapitre I : Le Polyéthylène Haute Densité (PEHD)

I.1. Introduction.....6

I.2. Les Polyoléfines6

I.3. Le polyéthylène.....6

I.3.1. Définition 6

I.3.2. Structure.....7

I.3.3. Classification des polyéthylènes 7

I.3.4. Le Polyéthylène haut densité (PEHD)..... 8

I.3.4.1. Historique.....8

I.3.4.2. Description générale (PEHD)..... 8

I.3.5. Propriétés des polyéthylènes haut densité (PEHD)8

I.3.5.1. Les propriétés mécaniques8

I.3.5.2. Les propriétés physiques.....9

I.3.5.3. Les propriétés chimiques 9

I.3.5.4. Les propriétés thermiques 10

I.3.5.5. Les propriétés rhéologiques 10

I.3.5.6. Les propriétés électriques..... 10

I.3.6. Domaine d’application de PEHD.....	10
I.3.7. Avantages et Inconvénients de PEHD	11
I.3.7.1. Avantages.....	11
I.3.7.2. Inconvénients	11
I.3.8. Cycle de vie de PEHD.....	11
I.3.9. Le recyclage de PEHD	11
I.3.10. Unité de production (PEHD).....	12
I.3.4. Conclusion	12
Références Bibliographiques	13

Chapitre II : Généralités sur les matériaux composites

II .1 Introduction.....	16
II. 2 Définition.....	16
II.3 Constitution D’un Matériaux Composites	16
II. 3.1 Matrice	17
II.3.2 Le Renfort	18
II.3.3 L’objectif d’incorporation d’un additif dans un polymère	18
II.4 Classification des matériaux composites.....	18
II.4.1 Classement suivant la forme des constitutions.....	18
II.4.1.1 Composites à fibres	19
II.4.1.2 Composites à particules	19
II.4.2 Classement suivant la nature des constitutions	19
II.4.2.1 Composites à matrice Polymérique	19
II.4.2.2 Composites à matrice Métallique	19
II.4.2.3 Composites à matrice minérale	20
II .5 Structure des matériaux composites.....	20

II.5.1 Monocouches	20
II.5.2 Stratifiés	21
II.5.3 Sandwiches	21
II.6 Avantages et inconvénients des matériaux	22
II.6.1 Avantages des matériaux composites	22
II.6.2 Inconvénients des matériaux composites	22
II.7 Domaine d'application des matériaux composites	23
II.8. Conclusion	23
Références Bibliographiques	24

Chapitre III : Généralités sur les fibres végétales

III.1. Introduction	27
III.2. Définition des fibres naturelles	27
III.3. Classification des fibres naturelles	27
III.4. Fibres végétales	28
III.4.1. Définition d'une fibre végétale	28
III.4.2. Classification des fibres végétales	28
III.4.3. La structure d'une fibre végétale.....	30
III.4.4. La composition chimique d'une fibre végétale.....	30
a). Cellulose	31
b). Hémicellulose	31
c). Lignine	32
III.4.5. Propriétés physico-mécanique des fibres végétales.....	32
III.4.6 : Avantages et inconvénients des fibres végétales.....	33
III.5. La charge végétale utilisée (poudre de feuille de cactus épineux)	34
III.5.1. Le cactus épineux.....	34
III.5.1.1. Origine.....	34
III.5.1.2. Définition.....	34

III.6. Conclusion.....	35
Références Bibliographiques	36

Chapitre IV : Matériaux Et Méthodes

IV.1 Introduction.....	39
IV.2 Matériaux utilisés.....	39
IV.2.1 La résine.....	39
IV.2.2 La charge utilisée.....	39
IV.2.2.1 La préparation de la poudre de feuilles de cactus épineux.....	40
IV.2.3 Préparation des matériaux composites	41
IV.2.3.1 Malaxage.....	42
IV.2.3.2. Broyage	42
IV.2.3.2. Moulage par compression	43
IV.3 Les techniques de caractérisation	44
IV.3.1 Caractérisation physique.....	44
IV.3.1.1 La densité	44
IV.3.1.2 Essai d'absorption de l'eau.....	45
IV.3.2 Caractérisation mécanique	46
IV.3.2.1 Essai de traction.....	46
IV.3.3 Caractérisation morphologique par microscopie optique	48
Références Bibliographiques	49

Chapitre V : Résultats et Discussions

V.1 Introduction	51
V.2 Etude physique	51

IV.2.1 La densité	51
V.2.2 Test d'absorption d'eau... ..	51
V.3 Etude de l'effet de taux de charge sur les propriétés mécaniques des composites PEHD/PFCE.....	52
V.3.1 Les propriétés mécaniques des composites obtenus par le test de traction	52
a) La contrainte maximale (la limite d'élasticité).....	53
b) La contrainte à la rupture	53
c) La déformation à la rupture (l'allongement à la rupture).....	54
d) Le module de Young (le module d'élasticité)	55
V.4. Morphologie par microscopie optique	57
V.5. Conclusion.....	57
Conclusion Générale.....	59

Listes des Figures

Figure I.1 : Polymérisation de polyéthylène	6
Figure I.2 : Schéma représentatif la structure chimique de polyéthylène	7
Figure II.1 : Les constituants d'un matériau composite.....	17
Figure II.2 : Organigramme représentant des différents types de matrice.....	17
Figure II.3 : Organigramme représentant la classification des renforts selon leur origine	18
Figure II.4 : Couche de composite	21
Figure II.5 : Composite stratifiés	21
Figure II.6 : Structure des composites sandwiches	22
Figure III.1 : Classification des fibres naturelles	28
Figure III.2 : Classification des fibres végétales.....	29
Figure III.3 : La structure d'une fibre végétale	30
Figure III.4 : Représentation de la chaîne cellulose	31
Figure III.5 : Structure moléculaire de l'hémicellulose.....	31
Figure III.6 : Structure moléculaire de lignine.....	32
Figure III.7 : Le cactus épineux	34
Figure III.8 : La feuille de cactus épineux	35
Figure IV.1 : La feuille de cactus épineux	40
Figure IV.2 : Les étapes de la préparation de la poudre PFCE.....	41
Figure IV.3 : La bouteille de mélange	42
Figure IV.4 : Le malaxage du PEHD avec PFCE sur le mélangeur	42
Figure IV.5 : La feuille coupée en petits morceaux (Photo originale)	43

Figure IV.6 : La presse hydraulique	43
Figure IV.7 : La préparation des éprouvettes.....	44
Figures IV.8 : Principe de l'essai de la densité	45
Figure IV.9 : L'appareille d'essai de traction	48
Figure IV.10 : L'appareillage de microscope optique.....	48
Figure V.1 : L'évolution du taux d'absorption d'eau du PEHD Pur et des composites PEHD/PFCE.....	52
Figure V.2 : Variation de la contrainte maximale dans le domaine élastique en fonction Du taux de charge PFCE.....	53
Figure V.3 : Variation de la contrainte à la rupture des composites PEHD/PFCE en fonction Du taux de charge de PFCE	54
Figure V.4 : La variation de l'allongement à la rupture des composites PEHD/PFCE en Fonction de taux de charge PFCE	55
Figure V.5 : La variation de module d'élasticité (MPa) en fonction de taux de charge PFCE	56
Figure V.6 : La morphologie des composites PEHD/PFCE à différent taux de charge.....	57

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Propriétés mécanique des polyéthylènes à haute densité.....	9
Tableau I.2 : Propriétés physique du PEHD.....	9
Tableau III.1 : Propriétés physico-mécanique de plusieurs fibres naturelles.....	33
Tableau III.2 : Avantages et inconvénients des fibres végétales.....	33
Tableau IV.1 : Principales caractéristiques du PEHD 5502.....	39
Tableau IV.2 : La composition des différentes formulations	41
Tableau V.1 : Les valeurs de densité des composites PEHD/PFCE	51

Liste des abréviations

PE : Le Polyéthylène.

PP : Les polypropylènes.

P-IB : Les polyisobutylènes.

PEHD : Polyéthylène haute densité.

PEBDL : Polyéthylène basse densité linéaire.

CP2K : Complexe pétrochimique 2 Skikda.

CP1K : Complexe pétrochimique 1 Skikda.

GL1K : Gaz naturelle liquéfier 1 Skikda.

Min : Minute.

% : pourcentage.

g/cm³ : gramme par centimètre.

g : gramme.

tr/min : tour par minute.

mm : millimètre ,unité de distance.

E : module d'élasticité

L : Longueur.

ΔL : L'allongement.

F : charge de traction supportée par l'éprouvette

S : section initial

L₀ : Longueur initial.

°c : Degrés Celsius.

GPa : Gigapascal.

MPa : Mégapascal.

PFCE : poudre de feuille de cactus épineux.

ASTM D: Analyses standard test method.

ASTM : Norme Américaine certifiée.

***Introduction
Générale***

Introduction Générale

Au cours de ces dernières décennies, les matières plastiques ont pris une place prépondérante dans la vie de tous les jours. Malheureusement, la dégradation facile de ces matériaux issus du pétrole, qui est une ressource naturelle épuisable, est devenue de plus en plus un grand problème [1-2]. Actuellement, les besoins en matériaux adéquats grandissent de plus en plus, ce qui oblige l'être humain à associer deux ou trois composants différents pour l'élaboration de nouveaux produits avec des propriétés améliorées. En effet, la combinaison des constituants aux caractéristiques complémentaires, engendrent des propriétés attractives et indispensables dans certaines applications. Les matériaux obtenus de cette manière sont appelés « composites ». Ils constituent actuellement un domaine privilégié de la recherche scientifique [3,4]. Les composites à fibres végétales sont très demandés actuellement dans plusieurs secteurs, notamment dans l'emballage en raison de leur biodégradabilité.

Les matériaux composites sont par définition une combinaison de deux ou plusieurs constituants à structures différentes permettant l'obtention d'un certain nombre de propriétés supérieures à celles de chacun pris individuellement. Ils ont constitué d'un renfort et d'une matrice polymère. Cette combinaison joue un rôle important dans l'amélioration de différentes propriétés mécaniques, chimiques, physiques, etc.

Parmi les polymères thermoplastiques utilisés dans le domaine des composites, on trouve le polyéthylène à haute densité (PEHD), qui appartient à la famille des polyoléfines et qui a su s'imposer dans de nombreuses applications du fait de ses propriétés intrinsèques qui sont sans cesse améliorées par le développement de nouveaux procédés de fabrication [5].

Les plastiques sont des matières stables qui se décomposent très lentement dans la nature (400 ans environ). On note aussi que l'incinération de ces plastiques d'origine pétrochimique est très polluante, elle dégage d'énormes quantités de CO₂ et d'autres gaz toxiques nocifs pour l'environnement et pour la santé humaine. De plus, L'utilisation croissante de ces matériaux composites engendre des problèmes de gestion des déchets qui en résultent.

Dans ce projet de fin étude, nous avons préparé des matériaux composites à base du polymère thermoplastique « le polyéthylène à haut densité (PEHD) » renforcé par une charge de La poudre de feuilles de cactus épineux(PFCE) avec différents pourcentages.

L'objectif principale de ce travail consiste à préparer un nouveau biomatériau avec des bonnes caractéristiques et très compatible avec l'environnement afin de minimiser le maximum du taux des déchets ainsi que décroche une révolution dans le domaine des composites.

Ce travail est subdivisé en cinq chapitres articulés de la manière suivante :

Le premier chapitre présente d'une part, la définition d'un PE, sa structure chimique, ainsi que leurs classifications. Et d'autre part, ce chapitre contient une description détaillée sur les principaux procédés de synthèse des polyéthylènes à haute densité (PEHD) et ses propriétés.

Le deuxième chapitre est consacré à présenter une étude bibliographique regroupant des généralités sur les matériaux composites, leurs classifications, ses avantages et ses inconvénients.

Dans le troisième chapitre nous avons présenté un aperçu sur les fibres naturelles, en particulier, les fibres végétales, leurs classifications, leurs structures et compositions chimiques, leurs propriétés ainsi que leurs différentes applications.

Dans le quatrième chapitre nous avons cité les différents matériaux utilisés dans le cadre de cette étude d'une part. Et d'autre part, nous avons présenté le processus de préparation de la matière première, ainsi que le protocole de mise en œuvre utilisée dans la fabrication des composites. Ce chapitre comprend aussi les principales méthodes de caractérisation des composites préparés.

Le dernier chapitre comporte les différents résultats obtenus et une discussion bien détaillée.

Enfin, nous terminerons avec une conclusion générale

Références Bibliographiques

- [1] D. C. Miles et J. H. Briston, Technologie des polymères, Dunod, Paris, 1968.
- [2] P. Combette et I. Ernoult, Physique des polymères, Tome 1, Hermann, Paris, 2005.
- [3] S. Nekkaa, M. Guessoum et N. Haddaoui, Water absorption behavior and impact properties of spartium junceum fiber composites, Int. J. Polym Mater., Vol. 58, 2009, pp. 468-481.
- [4] H. Kim, J. Biswas et S. Choe, Effects of stearic acid coating on zeolite in LDPE, LLDPE, and HDPE composites, Polym. Korea, Vol. 47, 2006, pp. 3981-3992.
- [5] S. Meriem. « Elaboration et caractérisation des composites hybrides PEHD/fibres recyclés /montmorillonite organophile : Etude des effets de la composition et du traitement de surface de la fibre PET ». Mémoire de master en Génie des polymères. Université Ferhat Abbes Sétif 1, 2014.

Chapitre I :

Le Polyéthylène Haute Densité (PEHD)

I.1 Introduction

Le polyéthylène (PE) est un polymère très employé et occupe une position très dominante dans la vie quotidienne. Leur utilisation touche généralement tous les secteurs industriels sans exception et plus particulièrement, le domaine de canalisations d'adduction d'eau potable et de gaz. La connaissance de diverses propriétés de ce matériau est indispensable dans la mesure, et sa consommation mondiale connaît une forte augmentation. Dans ce premier chapitre, nous présentons d'une part, la définition d'un PE, sa structure chimique, ainsi que leurs classifications. Et d'autre part, ce chapitre contient une description détaillée sur les principaux procédés de synthèse des polyéthylènes à haute densité (PEHD) et ses propriétés.

I.2 Les polyoléfines

Les polyoléfines sont des matériaux issus de la polymérisation d'oléfines c'est-à-dire de monomères hydrocarbonés dont la formule générale est $H_2C=CR_1R_2$. Ou' R_1 et R_2 sont des groupements tels que : H ; CH_3 ; $-CH_2-CH-(CH_3)_2...$ Les principales polyoléfines industrielles sont : Les polyéthylènes (PE) ; les polypropylènes (PP) et les polyisobutylènes (P-IB) [1].

I.3 Le Polyéthylène

I.3.1 Définition

Le polyéthylène (PE) est la matière plastique la plus synthétique au monde. Le PE qu'il fait partie de la famille des polyoléfines est un matériau thermoplastique semi-cristallin [2]. Il est obtenu par polymérisation de l'éthylène. La Figure I.1 représente la réaction de polymérisation de l'éthylène.

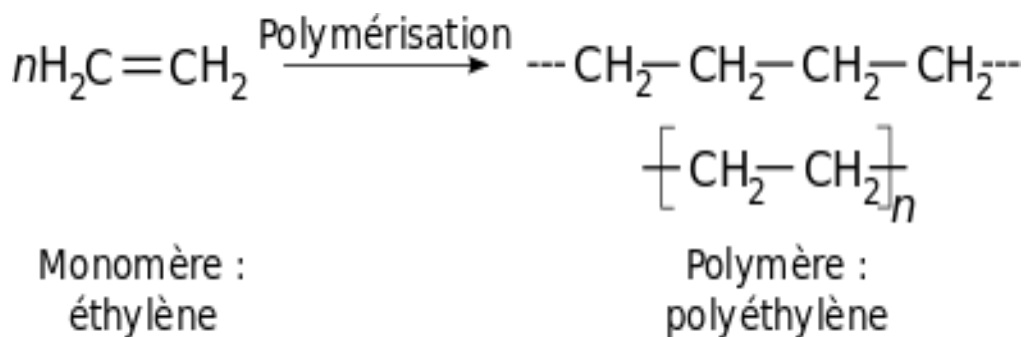


Figure I.1 : Polymérisation de polyéthylène [2].

I.3.2 La structure de polyéthylène

La structure chimique du polyéthylène est représentée sur la Figure I.2 :

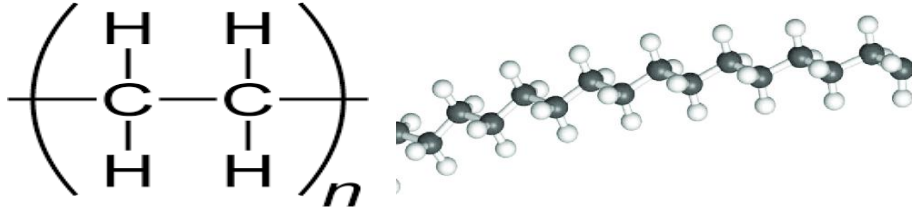


Figure I.2 : Schéma représentatif de la structure chimique du polyéthylène [3].

I.3.3 Classification des polyéthylènes

Les PE sont classés selon le type de polymérisation en trois catégories : Polyéthylène basse densité linéaire (PEBDL), Polyéthylène basse densité-haute pression, et Polyéthylène à haute densité (PEHD).

- **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 10^7 Pa, en présence des catalyseurs de types Ziegler ou Phillips [4]. Ces produits ont des caractéristiques voisines de celles des polyéthylènes à base densité haute pression (densité varie de 0.9 à 0.94 et un point de fusion qui varie de 115-128°C).

- **Polyéthylène basse densité-haute pression**

Le polyéthylène 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 0.935 g/cm³ [5].

- **Polyéthylène à haute densité (PEHD)**

Le polyéthylène haute densité appelé aussi "basse pression" est obtenu par polymérisation sous conditions moins sévères que celle de PEBD, dont la pression de polymérisation est inférieure à 50 bars et la température est voisine de 100°C.

Le PEHD a un taux de cristallinité de 93% et une température de fusion comprise entre 130°C et 145°C. Les chaînes de PEHD sont beaucoup plus alignées par rapport à celles de PEBD, ce qui explique la valeur élevée de sa densité (0.96 g/cm³) [6].

I.3.4 Le polyéthylène haut densité (PEHD)

I.3.4.1 Historique

Le polyéthylène à haute densité est produit par des procédés de polymérisation de l'éthylène à basse pression, seul ou avec des comonomères. Les premières unités de production datent du milieu des années cinquante. La première a été construite en 1955 par la société Phillips au Texas. Ce fut ensuite Hoechst qui démarra la première unité selon le procédé Ziegler en 1956. Dans les années soixante, des améliorations furent apportées au procédé Ziegler par l'utilisation de catalyseurs super actifs permettant de supprimer la coûteuse opération d'élimination des résidus catalytiques. Les développements les plus récents proviennent des procédés de polymérisation en phase gazeuse : BASF construisit sa première unité en 1964, Union Carbide a définitivement amélioré le procédé en phase gazeuse et l'a industrialisé dans les années quatre-vingt et, aujourd'hui, de nombreux licenciés utilisent cette technologie. D'autres procédés en phase gazeuse ont été développés et améliorés par la suite [7].

I.3.4.2 Description Générale (PEHD)

Le PEHD est un [8] :

- Thermoplastique commercial semi-cristallin, blanchâtre, semi opaque.
- Polymère le plus simple et le moins cher.
- Un matériau écologique ; sa fabrication est propre, ne produit que peu de déchets et n'émet pas de substances nocives ; il est recyclable à 100% dont le traitement ne nécessite que peu d'énergie.

I.3.5 Propriétés de Polyéthylènes Haute Densité

Les PEHD constituent une famille de matériaux polymériques avec des propriétés chimiques, physiques, mécaniques, thermiques, électriques, et rhéologiques uniques.

I.3.5.1 Les propriétés mécaniques

A 23 °C, les PEHD sont au-dessus de leurs températures de transition vitreuse ($T_g = -100^\circ\text{C}$), leurs phases amorphes est caoutchoutique, ce qui affecte leurs propriétés mécaniques (**Tableau I.1**) [9].

Tableau I.1. Propriétés mécaniques des polyéthylènes à haute densité [9].

Propriétés	Unités	PEHD
Masse volumique	g/cm^3	$\geq 0,955$
Indice de fluidité (190°c)	$\text{g}/10\text{min}$	0,3-18
Contrainte au seuil d'écoulement (traction)	MPa	25-30
Résistance à la rupture	MPa	30-35
Allongement rupture	%	500-1100
Module d'élasticité en traction	MPa	800-1100

I.3.5.2 Les propriétés physiques

Les polyéthylènes à haute densité sont opaques en forte épaisseur et transparents en films. L'augmentation de la cristallinité se traduit par une diminution de la stabilité et de la diffusivité (**Tableau I.2**) [10].

Tableau I.2 : Propriétés physique du PEHD [9].

Transmission lumineuse	Masse Volumique g/cm^3	Absorption d'eau %	Taux de cristallinité %
Mauvaise	0,95	0,01	70 à 80

I.3.5.3 Les propriétés chimiques

Les polyéthylènes à haute densité possèdent une grande stabilité chimique, à des températures inférieures à 60 °C, ils sont pratiquement insolubles, et ils ne sont attaqués ni par les acides (sauf oxydants), ni par les bases, ni par les solutions de sel. Ils sont insolubles dans l'eau, mais ils sont sensibles à l'état naturel à l'action des ultraviolets en présence d'oxygène, pour cela, ils sont

chargés de poudres de carbone, de 2 à 3 % ou de stabilisants à la lumière. Ils sont sensibles au feu et à la fissuration sous contrainte en présence de savon, alcool...etc. [9].

I.3.5.4 Les propriétés thermiques

Le point de fusion du PEHD se situe entre 120 et 136°C. La conductivité thermique et le coefficient de dilatation thermique linéaire sont une fonction du taux de cristallinité, ils sont plus élevés pour les homopolymères que les copolymères [11].

I.3.5.5 Les propriétés rhéologiques

Le PEHD à l'état fondu présente un comportement viscoélastique non linéaire, cela signifie que sa viscosité diminue avec l'augmentation du cisaillement. Lors de l'extrusion, le polyéthylène est soumis à un gradient de vitesse de cisaillement, du cylindre de l'extrudeuse à la filière. Il est donc important de connaître la courbe de viscosité-vitesse de cisaillement sur l'étendue de la plage de cisaillement. La mesure de l'indice de fluidité à chaud (IF) permet d'estimer la viscosité à une vitesse de cisaillement donnée [11].

I.3.5.6 Les propriétés électriques

Le PEHD présente d'excellentes propriétés d'isolation électrique quelles que soient sa masse moléculaire et sa cristallinité. Sa faible permittivité relative et son faible facteur de dissipation diélectrique font de lui un matériau de choix en isolation électrique [12].

I.3.6 Domaines d'application de PEHD

Les domaines d'application de PEHD sont très vastes, à titre d'exemple [13] :

❖ Agriculture

- Films ;
- Filets de pêche ;
- Tuyaux d'irrigation ;
- Cageots.

❖ Emballage

- Alimentaires (bidons d'huile) ;
- Cosmétiques ;

- Produits d'entretien.

❖ Industrie

- Tuyaux gaz naturel et eaux ;
- Pièces techniques et automobiles ;
- Conteneurs.

I.3.7 Avantages et Inconvénients du PEHD

Les PEHD présentent plusieurs avantages, mais ils ont aussi des inconvénients [13].

a / Avantages

- Mise en œuvre aisée ;
- Excellentes propriétés d'isolation électrique ;
- Résistance aux chocs ;
- Grande inertie chimique ;
- Qualité alimentaire ;
- Perte du caractère perméable des PE que ce soit à l'eau, mais aussi à l'air et aux
- Hydrocarbures.

b / Inconvénients

- Sensibilité aux UV en présence d'oxygène ;
- Sensibilité à la fissure sous contrainte ;
- Mauvaise tenue à la chaleur ;
- Collage important.

I.3.8 Cycle de vie de PEHD

La production de tubes et canalisations en PEHD n'émet aucun rejet dans L'environnement. Les déchets de production sont totalement recyclés sur site et l'eau servant au refroidissement des canalisations produites circule en circuit fermé, en Conséquence, aucun rejet n'est à craindre pour l'environnement. Le polyéthylène est le matériau le plus utilisé au monde pour sa fiabilité. C'est un matériau extrêmement Résistant, ce qui explique son expansion sous tous les climats et permet de préserver de manière considérable la ressource en eau [14].

I.3.9 Le recyclage de PEHD

Le polyéthylène à haute densité est un matériau 100% recyclable sans retraitement spécifique en fin de vie. Il peut être broyé et utilisé dans d'autres applications. Il peut également être valorisé par incinération avec récupération d'énergie [15].

I.3.10 Unité de production (PEHD)

L'unité de production de polyéthylène haute densité (PEHD) est située dans le complexe CP2K sur la côte à environ 6 km à l'est de la wilaya de Skikda et a une hauteur moyenne d'environ 6 mètres au-dessus du niveau de la mer [16]. Cette unité est d'une capacité de production de 130.000 t/an au niveau de la zone industrielle de Skikda, elle comporte une seule ligne de production [17].

Le complexe utilise comme matières premières principales :

- L'éthylène venant du CP1K situé à proximité ou bien l'éthylène importé
- Isobutane venant du GL1K situé également à proximité.
- l'hexène
- Le catalyseur

I.4 Conclusion

Le polyéthylène à haute densité PEHD reçoit une double attention depuis de nombreuses années dans différents applications du fait de ses propriétés intrinsèques. Dans ce chapitre nous avons présenté une description générale sur les procédés de traitement de ce polymère, ainsi que ses principales caractéristiques. Une présentation de la structure de l'unité de production de PEHD au niveau de la wilaya de Skikda- Algérie a été mise au point.

Références bibliographiques :

- [1] J. P. TROTIGNE, J. VERDU, A. DOBRACZ et M. PIPERAND, « Matières plastiques, Structures, propriétés, mise en œuvre, normalisation », Nathan, Paris, (1996), pp : 53-156.
- [2] J. M. Berthelot, Matériaux composites comportement mécanique et analyse des structures, 4ème édition, Lavoisier, 2005, pp. 1-63.
- [3] « Le polyéthylène ». <http://fr.wikipedia.org/wiki/Polyéthylène>.
- [4] M.M, Jérôme. « Synthèse et caractérisation de silicates de calcium hydratés hybrides », Thèse de Doctorat, Université de Paris URF scientifique d'Orsay, Paris, 2003.
- [5] S, Fûzesséry. Polyéthylène basse densité, Techniques de l'ingénieur, A 3310,1-34.
- [6] S.Sofiane, « contribution à étude expérimentale un polyéthylène à haute densité (PEHD)-effet de la température et de vitesse de déformation », mémoire de magister ; Option : matériaux avancés, université de chlef ,2006.
- [7] H.Amina-L.Zaineb,«<Etude .l'effet de quelque charge végétales sur les propriétés du polyéthylène haute densité PEHD>>.mémoire de master 2 génie des polymères ,universités de Skikda 2919-2020.
- [8] : B.Seddik,G.Farid«<Contribution à l'étude expérimentale d'un polyéthylène à haute densité (PEHD) –Effet de la température et de la vitesse de déformation>>mémoire de magister en matériaux avancés, universités de Badji Mokhtar Annaba 2007.
- [9] F. Montagne et G. W. Ehrenstein, Matériaux polymères. Structure, propriétés et application, Hermès Science publication, 2000.
- [10] Catalogue du Groupe Chiali, Siège et Direction Générale, Chiali Tubes / Société de Transformation de Plastique et Métaux, Zone Industrielle. Voie A. Bp 160 Sidi Bel Abbès, 22000Algérie.
- [11] A.Hanane, B.Dounia « Influence des additifs (noir de carbone) sur la qualité du polyéthylène haute densité », projet professionnel de fin de formation pour obtention du diplôme ingénieur, école IAP-Boumerdes, 2017.

[12] M. Fontanille, P. Vairon ; Polymérisation ; Ed. Techniques de l'ingénieur, Traité plastiques et composites ; (A3 040).

[13] « Connaissance de polyéthylène », Documentation technique de la société ELF ATCHEM, octobre 1995.

[14] S. Thomas, M.J. Jacob, B. Francis, K.T. Varughese, « Effect of chemical modification on properties of hybrid fiber bio-composites». Composites : Part A, 2008, Vol. 39 (2).

[15] C.Hacene. « Synthèse et caractérisation des composites PEHD/CaCO₃ ». Mémoire de Master en Analyse chimique en control industriel et environnement, Université de 20 aout 1955 Skikda, 2011.

[16] : Lyes BOUDIAF, Sontrach une compagnie pétrolier et gazière intégrée, Direction générale, page «8-10 ».

[17] H. Annab, A. Segueni « INFLUENCE DES ADDITIFS (SILICE) SUR LES PROPRIETES DU POLYETHYLENE HAUTE DENSITE (PEHD 5502) “ SONATRACH CP2K SKIKDA” », mémoire de master, Université de Larbi BenM'hidi Oum El Bouaghi, 2019.

Chapitre II :
Généralités sur les
matériaux composites

II.1 Introduction

L'étude et la conception des matériaux composites suscitent depuis près d'un siècle un grand intérêt dans des domaines variés de la chimie moderne. Ils présentent des performances souvent bien supérieures à celles des matériaux homogènes qui leur offrent des perspectives d'utilisations fortes prometteuses [1]. Cette partie du manuscrit présente une étude bibliographique regroupant des généralités sur les matériaux composites et leurs classifications.

II.2 Définition

Dans un sens très large, le mot « composite » signifie « constitué de deux ou plusieurs parties différentes ». Par ailleurs on définit un composite comme un matériau réunissant au moins deux composants qui ne sont pas miscibles mais présentent une forte capacité d'adhésion. L'association de ces éléments conduit à un matériau dont les propriétés sont supérieures aux propriétés des éléments pris séparément [2,3]. Les matériaux composites ne sont pas une nouveauté, ils ont été utilisés dès l'antiquité par l'homme comme le bois et le torchis qui sont des matériaux de la vie quotidienne [4].

II.3 Les Constituants des matériaux composites

En général les constituants principaux d'un matériau composite sont :

- La matrice.
- Le renfort.
- Les charges et les additifs.

La **Figure II.1** représente les constituants d'un matériau composite.

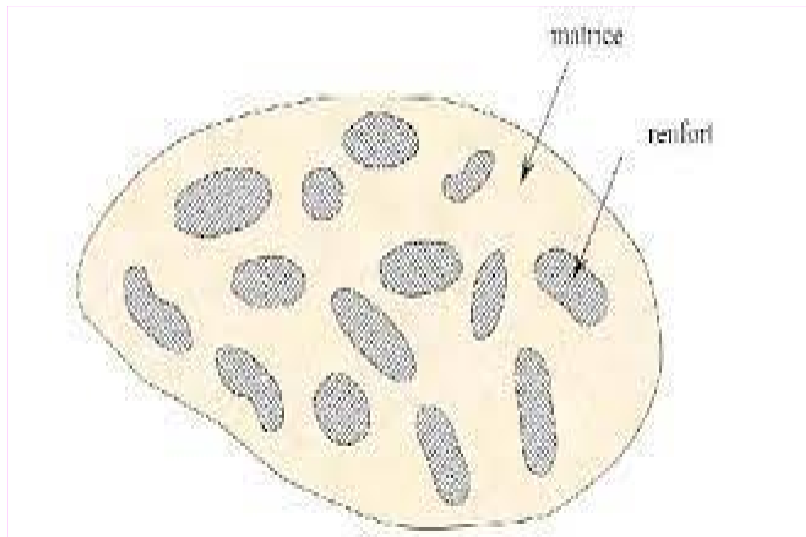


Figure II.1 : Les constituants d'un matériau composite [5].

II.3.1 La matrice

La matrice est l'élément qui lie et maintient les fibres. Elle répartit les efforts (résistance à la compression ou à la flexion) et assure la protection chimique des fibres. La classification des types de matrices couramment rencontrées est donnée sur la Figure II.2 [5].

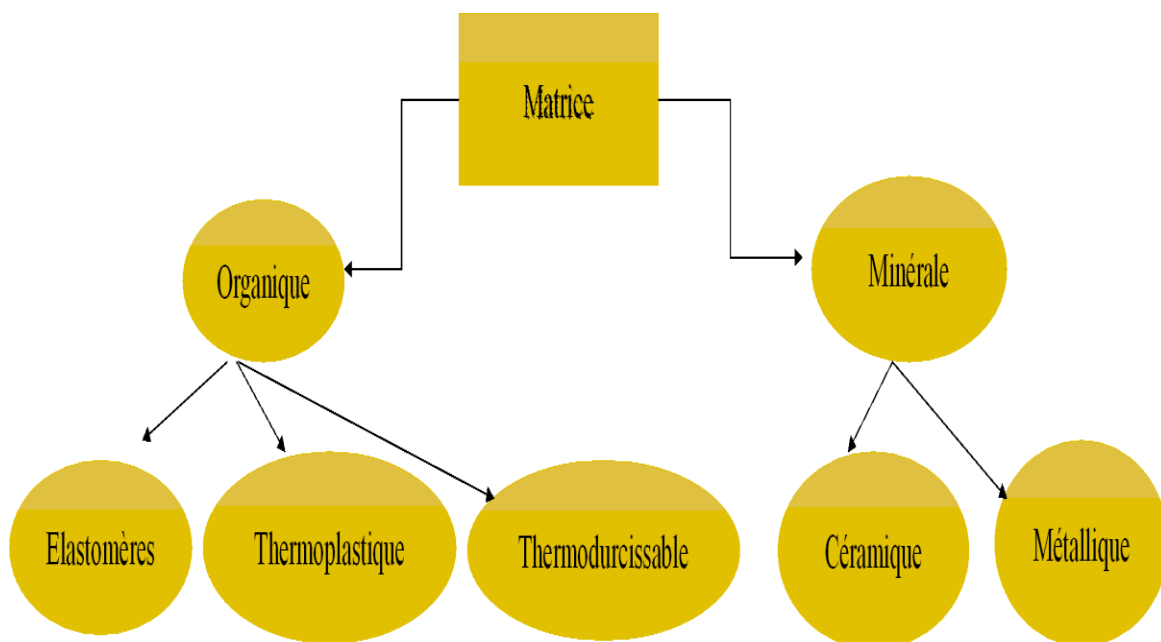


Figure II.2 : Organigramme représentant des différents types de matrice.

II.3.2 Le renfort

C'est le principal porteur constitutif dans le composite (forme, volume). Il confère aux composites leurs caractéristiques mécaniques : rigidité, résistance à la rupture, et la dureté. Les renforts peuvent être d'origine minérale (verre, bore, céramique...) ou organique (Polyesters ou aramide). Les plus employées sont les fibres de verre et les fibres de carbone sont privilégiées [5].

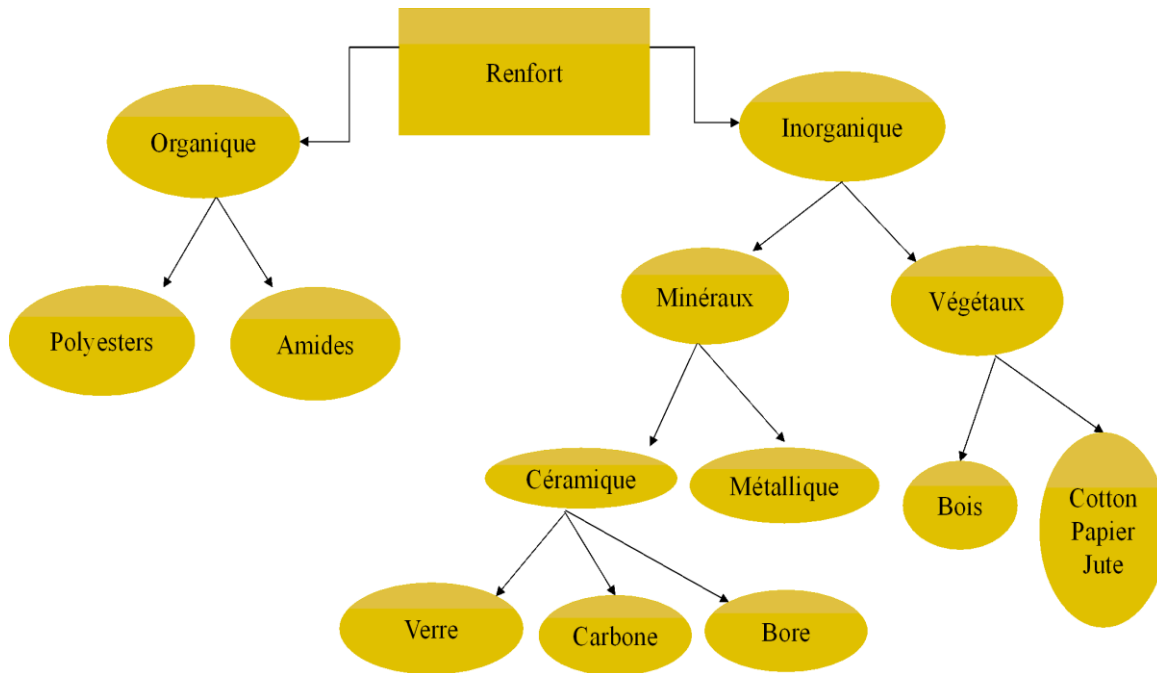


Figure II.3 : Organigramme représentant la classification des renforts selon leurs origines [5].

II.3.3 L'objectif d'incorporation d'un additif dans un polymère

Les propriétés intrinsèques d'un objet (micrométrique ou nanométrique) peuvent permettre de conférer au matériau des propriétés spécifiques telles que magnétiques ou électriques et/ou de modifier ses propriétés thermiques, mécaniques ou optiques [6].

II.4 Classification des matériaux composites

Les composites peuvent être classés suivant la forme des composants ou suivant leurs natures [7].

II.4.1 Classement suivant la forme des constituants

En grande fonction de la forme des constituants, les composites sont classés en deux classes :

- Les matériaux composites à fibres.
- Les matériaux composites à particules.

II.4.1.1 Composites à fibres

Un matériau composite est un composite à fibres si le renfort se trouve sous forme de fibres. Les fibres utilisées se présentent sous forme des fibres continues, soit sous forme des fibres discontinues, fibres courtes, fibres coupées, etc. l'arrangement des fibres, et leur orientation permettent de moduler à la carte les propriétés mécaniques des matériaux composites, pour obtenir des matériaux allant de matériaux fortement anisotropes à des matériaux anisotropes dans un plan. L'importance des matériaux composites à fibres justifier une étude exhaustive de leurs comportements mécaniques [7].

II.4.1.2 Composites à particules

Un matériau composite est dit à particules lorsque le renfort se trouve sous forme de particules. Une particule, par opposition aux fibres, ne possède pas de dimension privilégiée. Les particules sont généralement utilisées pour améliorer certaines propriétés des matériaux comme la rigidité, la tenue à la température, la résistance à l'abrasion, etc. Le choix de l'association matrice/particules dépend des propriétés souhaitées du composite [7, 8].

II.4.2 Classement suivant la nature des constituants

Selon la nature de la matrice, les matériaux composites sont classés suivant des composites à matrice polymérique, à matrice métallique ou à matrice minérale. Divers renforts sont associés à ces matrices, parmi ces composites [9, 10].

II.4.2.1 Composites à matrice polymérique

Les polymères sont caractérisés par une faible densité, une résistance mécanique relativement faible, et une grande déformation à rupture. Les principaux avantages de ces composites sont le procédé de fabrication relativement mature et le poids faible. Ce type de composites a été développé surtout pour les applications aéronautiques où la réduction de poids est essentielle.

II.4.2.2 Composites à matrice métallique

Dans ces composites, des matériaux métalliques comme l'aluminium et le titane sont renforcés par des renforts généralement non-métalliques, souvent des céramiques. De par la nature même du composite, les composites à matrice métallique ont des propriétés mécaniques meilleures ou plus adaptables au chargement que leurs matrices monolithiques. Leurs applications dans les moteurs d'automobile sont bien établies.

II.4.2.3 Composites à matrice minérale (céramique)

Des matrices céramiques telles que le verre et le carbure de silicium (SiC) peuvent être associées aux renforts comme des métaux, le carbone, et des céramiques. Leurs développements a pour but d'améliorer les propriétés mécaniques telles que ténacité et résistance au choc thermique des céramiques monolithiques. Ces composites sont utilisés dans des environnements sévères, par exemple les moteurs de fusées, les boucliers thermiques, ou les turbines à gaz [11]. On distingue également deux types de composites qui s'adressent à des marchés différents [12] :

- Les matériaux composites dits "grande diffusion" dont les propriétés mécaniques sont plus faibles mais d'un coût compatible avec une production en grande série.
- les matériaux composites dits "hautes performances", présentant des propriétés mécaniques spécifiques élevées et un coût unitaire important. Ce sont les plus employés en aéronautique et dans le spatial.

II.5 Structure des matériaux composites

Les structures des matériaux composites peuvent être classées en trois types [13] :

- Les monocouches.
- Les stratifiées.
- Les sandwiches

II.5.1 Monocouches

Les monocouches sont les éléments de base des structures composites. Des fibres unidirectionnelles placées dans le plan médian sont emprisonnées dans une matrice polymère. Ils sont caractérisés par le type de renfort utilisé : des fibres longues (unidirectionnelles ou non), courtes, sous forme de tissus, de rubans [14].

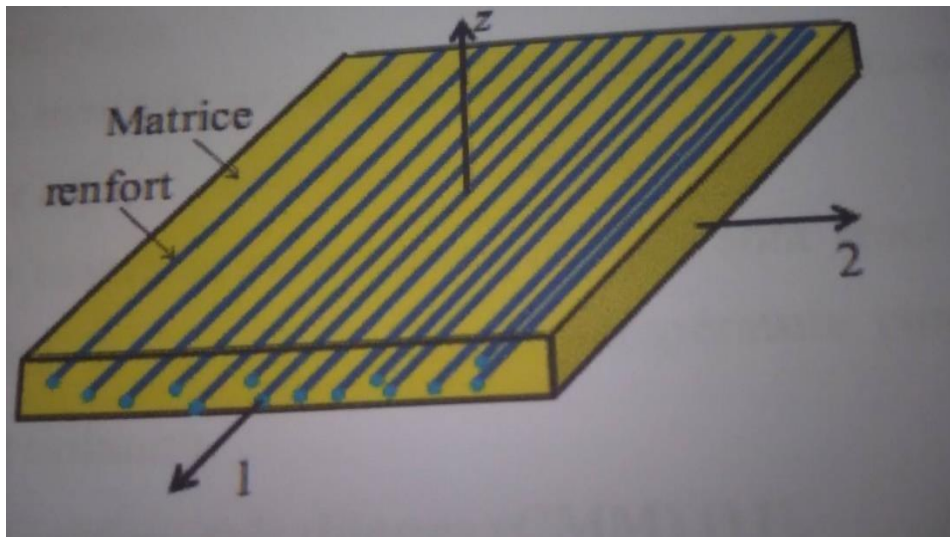


Figure II.4 : Couche de composite [13].

II.5.2 Stratifié

Un stratifié est constitué d'un empilement de monocouches ayant chacun une orientation propre par rapport à un référentiel commun aux couches et désigné comme le référentiel du stratifié. Le choix de l'empilement et plus particulièrement des orientations permettra d'avoir des propriétés mécaniques spécifiques [13].

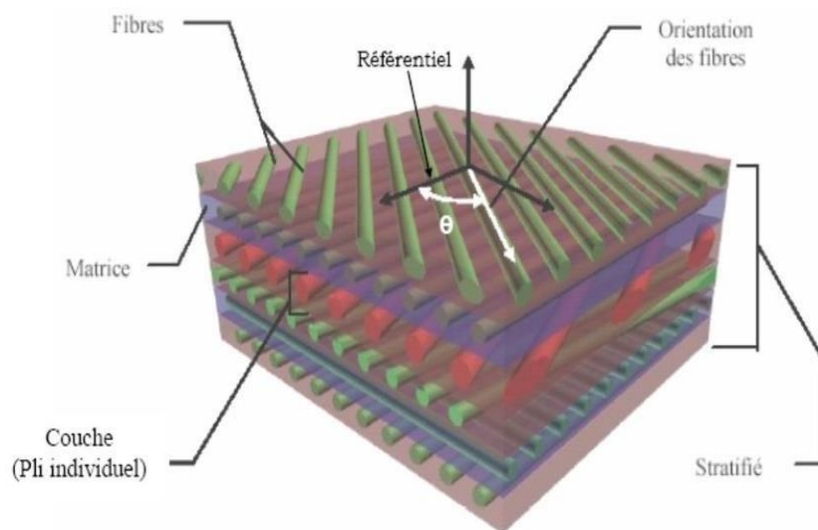


Figure II.5 : Composite stratifiées [13].

II.5.3. Sandwiches

Les structures composites subissant des sollicitations de type flexion ou torsion sont généralement construites en matériaux sandwichs. Une structure sandwich est composée d'une âme et de deux peaux en matériaux composites. L'assemblage est réalisé par collage à l'aide d'une résine compatible avec les matériaux en présence. Les âmes les plus utilisées sont de type nid d'abeilles, âme ondulée ou mousse. Les peaux sont généralement constituées de structures stratifiées [13].

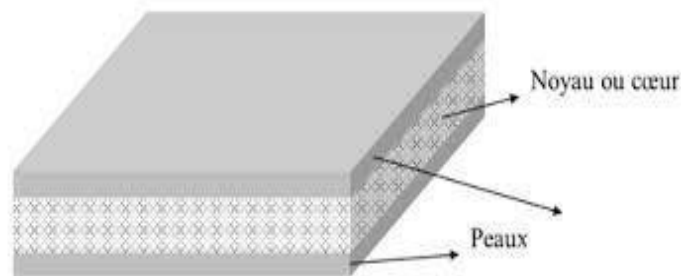


Figure II.6 : Structure des composites

II.6. Avantages et inconvénients des matériaux composites

II.6.1 Les avantages des matériaux composites :

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

- *Leur légèreté
- *Leur résistance à la corrosion et aussi à la fatigue.
- *Leur insensibilité aux produits comme les graisses, les liquides hydrauliques, les peintures et les solvants.
- * Leur possibilité de prendre plusieurs formes, d'intégrer des accessoires et permettre la réduction de bruit [14].

II.6.2 Les inconvénients des matériaux composites

Cependant certains inconvénients freinent leurs diffusions :

* Les coûts des matières premières et des procédés de fabrication.

*La gestion des déchets engendrés et la réglementation de plus en plus stricte [14].

II.7. Domaines d'applications des matériaux composites

Les matériaux composites de nos jours prennent une place prépondérante dans différents domaines :

- Électricité et électronique,
- Bâtiment et travaux publics,
- Transports routiers, ferroviaires, maritimes, aériens et spatiaux (notamment militaire),
- Santé (instrumentation médicale) [15].

II.8 Conclusion :

Les matériaux composites sont des matériaux très variés, disponibles partout, et connaissent actuellement un essor important dans tous les domaines d'application et leurs caractéristiques dépendent directement au choix des constituants. Cette partie de travail définit d'une manière générale les matériaux composites, et en particulier, leurs types, propriétés, et domaines d'application.

Références bibliographiques

- [1] D. Roy, S. Massey, A. Adnot et A. Rjeb, Action of water in the degradation of lowdensity polyethylene studied by X-ray photoelectron spectroscopy, *Express Polym. Lett.*, Vol. 1, 2007, pp. 506–511.
- [2] J. M. Berthelot, *Matériaux composites comportement mécanique et analyse des structures*, 4ème édition, Lavoisier, 2005, pp. 1-63.
- [3] S. Étienne, D. Laurent, E. Gaudry, P. Lagrange, J. Le dieu et J. Steinmetz, *Les matériaux de A à Z*, Dunod, 2008, pp. 54-63.
- [4] D. Gay, *Matériaux composites*, 5ème édition, Lavoisier, Paris, 2005, pp. 19-260.
- [5] B. Bouchra « Caractérisation d'un matériau composite stratifié à fibre de verre/époxy en flexion 3 points statique ». Mémoire de Master en Génie Mécanique, Université Badji Mokhtar Annaba, 2018.
- [6] B. Sabrina et LOUCHI Soumaya. « L'effet de l'incorporation d'une charge végétale (Cyprés) sur Les propriétés de PEHD ». Mémoire de Master en Génie des polymères, Université 20 août 1955 Skikda, 2019.
- [7] B. Ringuette. *Matériaux composites à base de fibres de chanvre*. Mémoire de maîtrise. Université Laval- Québec, 2011.
- [8] J.M. Berthelot. *Matériaux composites : Comportement mécanique et analyse des structures*. 5ème éd, Technique et documentation, Lavoisier : Paris, 2005.
- [9] M. Geier, D. Duedal. *Guide pratique des matériaux composites*. Technique et documentation, Lavoisier : Paris, 1985.
- [10] W. Kurz, J. P. Mercier, G. Zambelli et al, *Traité des matériaux : Introduction à la science des matériaux*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes : Paris, 1995.
- [11] Z. Gürdal, R.T. Haftka, P. Hajela. *Design and optimization of laminated composite materials*. Wiley-Interscience Publication : Canada, 1999.
- [12] M. Reyne. *Traité Plastiques et Composites*, Paris : Techniques de l'Ingénieur : Paris, AM 5002, 1998, p. 1–6.

[13] M. Haddadi. Etude numérique avec comparaison expérimental des propriétés thermoplastique des matériaux composites à matrice polymère. Mémoire de Master. Université Al Hadj Lakhdar-Batna, 2011.

[14] K.Abd raouf. «Effet des paramètres d'élaboration sur le comportement mécanique d'un bio-composites ». Mémoire de master en Génie mécanique. Université Mohamed Boudiaf M'sila, 2016.

[15] : B. Bouchra. « Caractérisation d'un matériau composite stratifié à fibre de Verre/époxy en flexion 3 points statique ». Mémoire de Master en Génie Mécanique, Université Badji Mokhtar Annaba, 2018.

Chapitre III :
Généralités sur les fibres
végétales

III.1 Introduction

Au cours des dernières décennies, les fibres naturelles ont reçus une attention croissante tant auprès du monde universitaire, que de diverses industries dans les différents domaines des composites. Elles sont très utilisées en raison de leurs disponibilités, donc leurs utilisations valorisent les ressources locales d'un pays donné, tout en respectant l'environnement [1].

Ce chapitre présente un aperçue sur les fibres naturelles, en particulier, les fibres végétales, leurs classifications, leurs structures et compositions chimique, leurs propriété ainsi que leurs différents applications.

III.2 Définition des fibres naturelles

Les fibres naturelles sont produites à partir des plantes, d'animaux ou des minéraux et elles ne sont pas transformées chimiquement. On peut dire que, mis à part les transformations mécaniques réalisées sur la matière première pour la convertir en fibre, il n'y a eu aucune modification [2].

III.3 Classification des fibres naturelles

La plupart des fibres naturelles sont d'origine végétale, animale ou minérale.

Végétale : extraite de plantes, de fruits et d'arbres comme le coton, le lin, le jute, le chanvre, etc.

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

Minérale : on trouve dans la nature des minéraux dont la texture fibreuse s'agit d'une matière toxique, comme l'amiante [3].

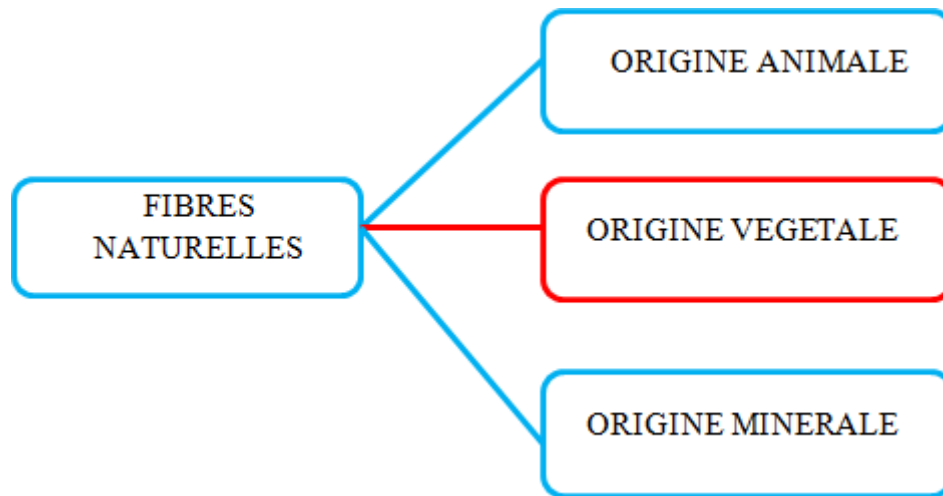


Figure III.1 : Classification des fibres naturelles.

III.4 Fibres végétales :

III.4.1 Définition d'une fibre végétale

La fibre végétale est une structure biologique fibrillaire composée de cellulose, hémicellulose et de lignine et avec une proportion relativement faible d'extractible non azoté, de matière protéique brute, de lipide et de matière minérale. Le rapport de ces constituants dépend en grande partie de l'espèce, de l'âge et des organes de la plante [4].

III.4.2 Classification des fibres végétales

Les fibres végétales sont divisées en quatre groupes suivant leurs provenances à s'avoir : les fibres de feuille, de tiges, de bois et de surface [5]. **Figure III.2** représente les principales classes des fibres végétales.

Fibres de feuilles : ces fibres sont obtenues grâce au rejet des plantes monocotylédones. Elles sont fabriquées par chevauchement de paquet qui entoure le long des feuilles pour les renforcer. Ces fibres sont dures et rigides. Les types de fibres de feuilles les plus cultivées sont les fibres de sisal et d'abaca [6].

Fibres de tiges : les fibres de tiges proviennent des tiges des plantes dicotylédones. Leur fonction est de donner une bonne rigidité aux tiges de plantes. Elles sont commercialisées sous forme de paquet de cor et en toute longueur. Les fibres de tige les plus utilisées sont les fibres de jute, lin, ramie, kénaf et de chanvre [7].

Fibres de bois : Les fibres de bois proviennent du broyage des arbres tels que les bambous ou les roseaux. Elles sont généralement courtes [6 ; 8].

Fibres de Surface : Les fibres de surface entourent en général la surface de la tige, de fruits ou de grains. Les fibres de surface des grains constituent le groupe le plus important dans cette famille de fibres. Nous citons entre autre le Cotton et la noix de coco (coco) [9].

Fibres de sève : comme le latex ou le caoutchouc (hévéa) [10].

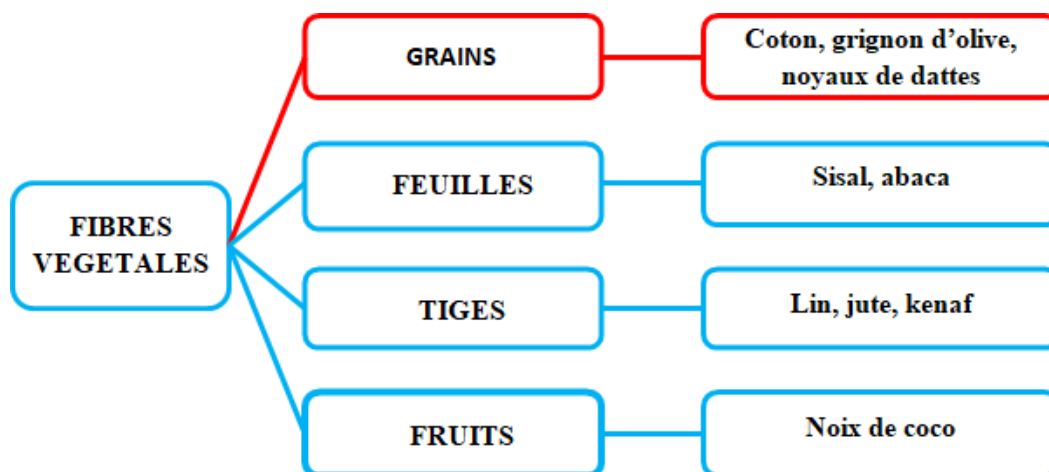


Figure III.2 : Classification des fibres végétales.

III.4.3 La structure d'une fibre végétale

La fibre végétale peut être assimilée à un matériau composite dont le renfort est assuré par fibrilles de cellulose enrobées d'une matrice formée d'hémicellulose et de lignine qui est une structure très rigide [11]. Les fibrilles sont organisées en hélice et forment un angle avec l'axe de la fibre appelé « angle micro fibrillaires ».

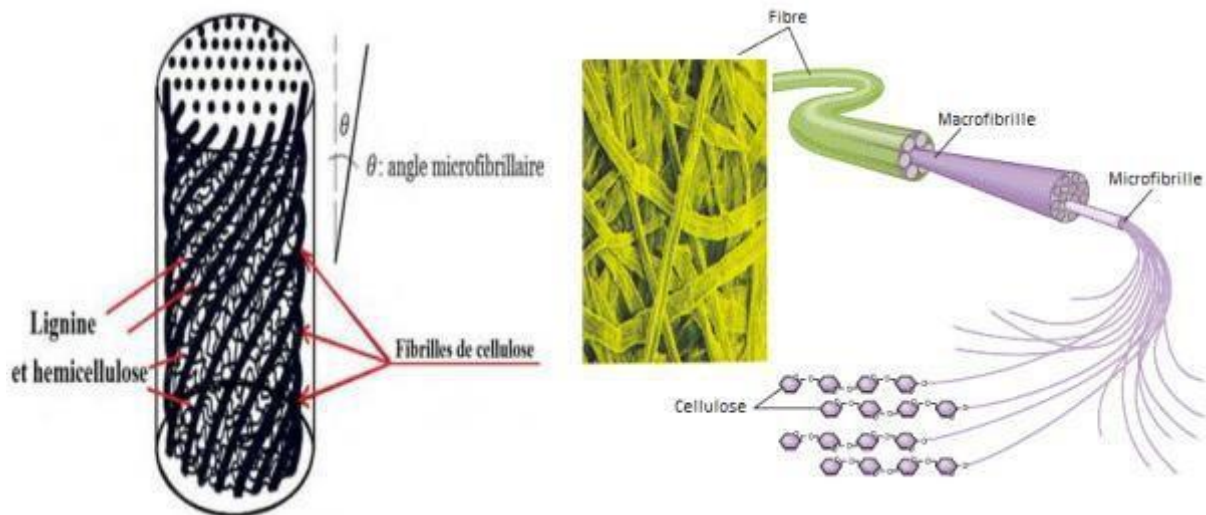


Figure III.3 : La structure d'une fibre végétale [11].

III.4.4 La composition chimique d'une fibre végétale

La biomasse végétale est constituée de plusieurs macromolécules étroitement liées entre elles au sein de la paroi végétale. Dans le cas de la tige des fibres végétales, au sein de leurs parois trois composés majoritaires se distinguent : la cellulose, l'hémicelluloses et les lignines. La lignine joue le rôle d'une matrice enrobant la cellulose, qui est une structure très rigide [1], et les hémicelluloses jouent le rôle de comptabilisant à l'interface entre ces deux éléments [12]. A ces trois principaux constituants viennent s'ajouter des substances de faible poids moléculaire, extractibles et cendres [12, 13].

A. La Cellulose

C'est la principale composante des fibres végétales. C'est un polymère naturel du premier plan. Généralement, les fibres végétales sont constituées par une chaîne de fibres en cellulose [14].

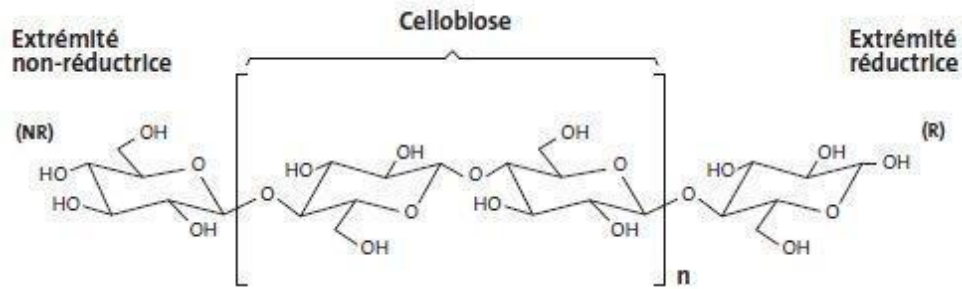


Figure III.4 : Représentation de la chaîne de cellulose.

B. Hémicellulose

L'hémicellulose présente dans toutes les parois de ces fibres, est un polysaccharide à chaîne courte ramifiée et repliée sur elle-même. C'est le constituant responsable de l'élasticité des fibres et qui permet aux parois de s'allonger pendant la croissance [14].

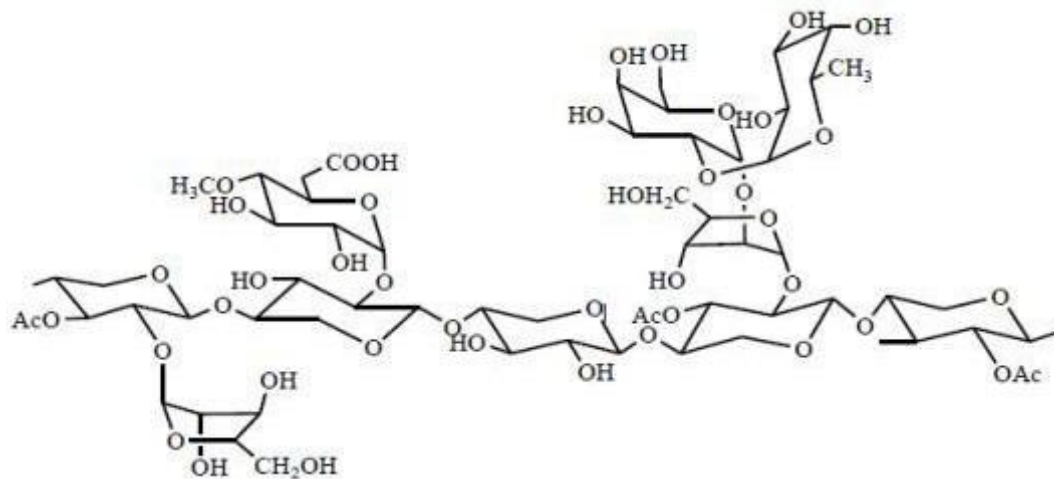


Figure III.5 : Structure moléculaire de l'hémicellulose [15].

C. Lignine

La lignine constitue la colle qui lie les fibres végétales entre elles ainsi que leurs parois. C'est un polymère tridimensionnel provenant de la copolymérisation de trois alcools phénylpropénoïques [14].

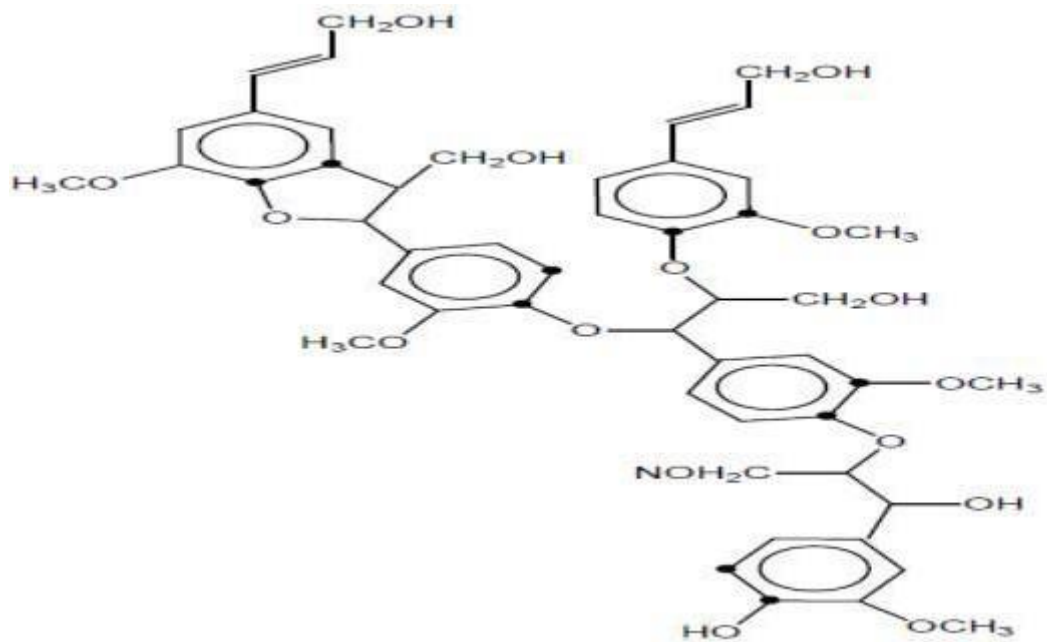


Figure III.6 : Structure moléculaire de la lignine.

III.4.5 Propriétés physico-mécanique des fibres végétales

Les propriétés mécaniques des fibres végétales sont déterminées par les caractéristiques intrinsèques de ces fibres (composition chimique, cellulose, hémicellulose, lignine et pectines, structure de la fibre section, porosité, angle micro-fibrillaire, facteur de forme, rapport longueur/diamètre, etc...), par des caractéristiques anthropiques, ou par des caractéristiques indépendantes et variables (taux d'humidité, localisation des fibres dans la tige, défauts naturels, conditions de croissance, etc...). Les propriétés mécaniques telles que le module de Young (GPa), contrainte à la rupture (MPa), l'allongement à la rupture (%), et les sources sont influencées par de nombreux facteurs, notamment l'origine, la variété, la croissance et la récolte des plantes [17].

Les fibres végétales sont caractérisées physiquement par leurs longueurs, leurs diamètres, et leurs densités.

Tableau III .1 : Propriétés physico-mécaniques de plusieurs fibres naturelles [18].

Fibre	Résistance à la traction(MPa)	Module d'Young(GPa)	Elongation à la rupture %	Densité (g/cm ³)
Abaca	400	12	3-10	1.5
Lin	345-1035	27.6	2.7-3.2	1.5
Chanvre	690	70	1.6	1.48
Jute	393-773	26.5	1.5-1.8	1.3
Kénaf	930	35	1.6	-
Sisal	511-635	9.4-22	2.0-2.5	1.5
Ramie	560	24.5	2.5	1.5
Ananas	400-627	1.44	14.5	0.8-1.6
Coco	175	4-6	30	1.2

III.4.6 Avantages et inconvénients des fibres végétales.

Certains avantages et inconvénients des fibres végétales sont regroupés dans le **Tableau III.2**

Tableau III.2 : Avantages et inconvénients des fibres végétales [19].

AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none"> -faible cout. -Biodégradabilité. -Neutre pour l'émission de CO₂. -Pas d'irritation cutanée lors de la manipulation des fibres. -Pas résidus après incinération. -Ressource renouvelable. -Demande peu d'énergie pour être produite. -Propriétés mécaniques spécifiques importantes (Résistance et rigidité). -Bonne isolation thermique et acoustique 	<ul style="list-style-type: none"> -Absorption d'eau. -Faible stabilité dimensionnelle. -Faible tenue thermique (200 à 230 °C max) -Fibres anisotropes. -Variation de qualité en fonction de lieu de croissance, de la météo....etc. -Pour des applications industrielles demande la gestion d'un stock. -Renfort discontinue.

III.5 La charge végétale utilisée (poudre de feuille de cactus épineux)

III.5.1 Le cactus épineux

III.5.1.1 Origine

L'habitat d'origine de cette plante remonte au Mexique, et aujourd'hui elle est répandue dans de nombreux pays du bassin méditerranéen, et les scientifiques comptent plus de 1600 variétés de cactus, et la plante de cactus peut résister sécheresse et survivre avec moins de 50 millimètres de pluie par an.



Figure III.7 : Le cactus épineux.

III.5.1.2 Définition

Le cactus épineux est une plante grasse à tige riche en suc d'une hauteur moyenne compris entre 1.5 et 3 mètres, en forme de palette ou de colonne.

Les fruits et les feuilles de cactus épineux sont riches en fibres, vitamines, minéraux et antioxydants. Il possède aussi vertus anti-cholestérol et anti-inflammations.



Figure III.8 : La feuille de cactus épineux.

III.6. Conclusion

Les fibres naturelles deviennent aujourd'hui une alternative intéressante pour remplacer les fibres synthétiques en raison de leur valeur indéfinie (par unité de poids). Ils ont été utilisés pour développer divers composites à base de matrices thermodurcissables et thermoplastiques. Comme pour tout composite, ses propriétés mécaniques, thermiques et physiques dépendent des propriétés de la matrice et du renforcement, ainsi que de la charge en fibres, de la source des fibres et du processus.

Références Bibliographiques :

- [1] A. Y. Nenonene. Elaboration et caractérisation mécanique de panneaux de particules de tige de kéraf et de bio adhésifs à base de colle d'os, de tannin ou de mucilage. *Thèse de doctorat*. Université Toulouse - Jean Jaures, 2009.
- [2] <https://youmiwi.com/blogs/youmiwi/une-fibre-naturelle-c-est-quoi>.
- [3] Omiri imen Yamina, « l'effet du traitement des fibres naturelles sur l'endommagement d'un béton polymère », mémoire master, université du msila ,2014/2015.
- [4] F. Laurans, A. Déjardin, J. Pilate. Physiologie de la formation des parois de fibres de bois. *Adv. Compos. Mater.* 2006, 16, p. 27-39.
- [5] Mostar Abdessamed, « influence des ajouts de fins minérales sur les performances mécaniques des bétons renforcé de fibre végétales de palmier dattier », université de Kasdi Merbah Ouargla option génie civil, novembre 2006.
- [6] SWAMY, R. H. S, AHUJA, B. M, KRISHAMOORTHY, S? Behavior concrete reinforced with jute, coir, bamboo fibers. *The international journal of cement composite and light weight concrete*, volume 5, p 13 N°1, 1984.
- [7] COUTTS, R.S.P., Flax fibers as a reinforcement in cement mortar , *the International journal of cement composites and lightweight concrete*, vol.5 N°4, pp 257-262, 1983.
- [8] KRIKER. A. Caractérisation des fibres de palmier dattier et propriétés des bétons et mortiers renforcés par ces fibres en climat chaud et sec. Thèse de doctorat d'état, ENP, Alger, 2005
- [9] BLEDZKI, A. K and GASSAN. J? Composites reinforced with cellulose based fibers *ELSEVIER, Progress in Polymer science*, volume 24, pp.221-274, 1999.
- [10] <https://textileaddict.me/les-fibres-naturelles/>
- [11] Brosse N. « **Fibres, matériaux Fibreux et Eco-matériaux** ». The Canadian Conférence On industrialo Bioproduct Innovation (BOIP), Présentation Power Point, (2008).
- [12] E. Bodros, C. Baley. Etude des propriétés de biopolymère renforcés par des fibres de lin aléatoirement dispersées dans le plan de stratification'', propriété aux interfaces et composites. Université de Bretagne-Sud, 2006.
- [13] M. Nardin. Interface fibre-matrice dans les matériaux composites application aux fibres végétales. *Adv. Compos. Mater*, 16, p. 49-61, 2006.
- [14] **Mokhtari Abdessamed** (Influence des ajouts de fines minérales sur les Performances Mécaniques des Bétons Renforcés de Fibres Végétales de Palmier dattier) mémoire magister, université de Kasdi Merbah Ouargla, 2006.

- [15] M.saiful Islam. The influence of Fibre Processing and Treatments on Hemp Fiber/Epoxy and Hemp Fibre/PLA Composites. PhD Thesis-University of Waikato, Hamilton, New Zealand, 2008.
- [16] Monot, Claire. Contribution à l'étude des complexes lignine-hydrates de carbone (LCC) dans le bois. Etude de l'impact des différentes étapes d'un procédé de bio raffinerie sans soufre sur les LCC. S.l. : université Grenoble alpes, 2015.
- [17] Martin N.A.M, Contribution à l'étude de paramètres influençant les propriétés mécaniques de fibres élémentaires de lin : Corrélation avec les propriétés de matériaux composites, phd Thesis, Université de Bretagne Sud, 2014.
- [18] O. Faruk, A.K. Bledzki, H.P. Fink, M. Sain. « **Bio composites reinforced with natural fibers** ». Progress in Polymer Science, 37, 1552-1596, (2012).
- [19] Talal, B. Utilisation d'une méthode optique sans contact pour décrire le comportement mécanique de composites Bois/Plastiques 'WPC '. Thèse de doctorat de l'université de Pau et des pays de l'Adour, 2011

Chapitre IV :
Matériaux Et
Méthodes

IV.1 Introduction

Dans cette partie, on s'intéresse principalement à la présentation des différents matériaux utilisés dans le cadre de cette étude d'une part. Et d'autre part, le processus de préparation et de traitement de la matière première, ainsi que le protocole de mise en œuvre utilisée dans la fabrication des composites ont été présentés. Ce chapitre comprend aussi les principales méthodes de caractérisation des composites préparés.

IV.2 Matériaux utilisés

IV.2.1 La résine

Le polyéthylène utilisé dans cette étude est un PEHD de référence 5502 produit par l'unité POLYMED CP2/K de la zone industrielle de Skikda. Ce PEHD est obtenu par polymérisation catalysées à base d'oxyde de chrome, selon le procédé de Philips utilisant de basses pressions.

Ses principales caractéristiques sont regroupées dans le **Tableau IV.1** :

Tableau IV.1 : Principales caractéristiques du PEHD 5502 [1].

Caractéristiques	Méthodes	Valeurs
Indice de fluidité (2.16Kg/190°C)	ASTM D1238	0.35g/10min
Densité (23°C)	ASTM D1505	0.955g/10min
Dureté, shore D	ASTM D2240	67
Résistance à la traction à la Rupture (50mm/min)	ASTM D 638	28 MPa
Elongation à la rupture (50mm/min)	ASTM D 638	>600%
Module de flexion	ASTM D 790	1200 MPa
Température de fusion	-	194 à 216°C

IV.2.2 La charge utilisée

La poudre de feuilles de cactus épineux PFCE est la charge utilisée dans la préparation des composites, elle a été récupérée par le broyage de feuilles de cactus épineux séché.



Figure IV.1 : La feuille de cactus épineux.

IV.2.2.1 La préparation de la poudre de feuilles de cactus épineux :

La poudre de la charge utilisée a été préparée à partir des feuilles de cactus épineux selon les étapes suivantes :

Tout d'abord, toutes les épines des feuilles de cactus ont été enlevées par un pinceau, puis et après l'extraction du gel trouvé à l'intérieur, les feuilles de cactus épineux ont été coupées en petits morceaux et lavées avec l'eau distillée plusieurs fois. Ensuite, une étape de séchage sous irradiation solaire a été faite jusqu'à l'élimination total des traces d'eau. Les morceaux des feuilles ont été récupérés et broyés à l'aide d'un petit mortier jusqu'à l'obtention d'une poudre fine. Enfin, La poudre broyée ainsi obtenue et passée à travers un tamis de farine avec un diamètre $< 180\mu\text{m}$.

Toutes les étapes sont regroupées dans la **Figure IV.2**.

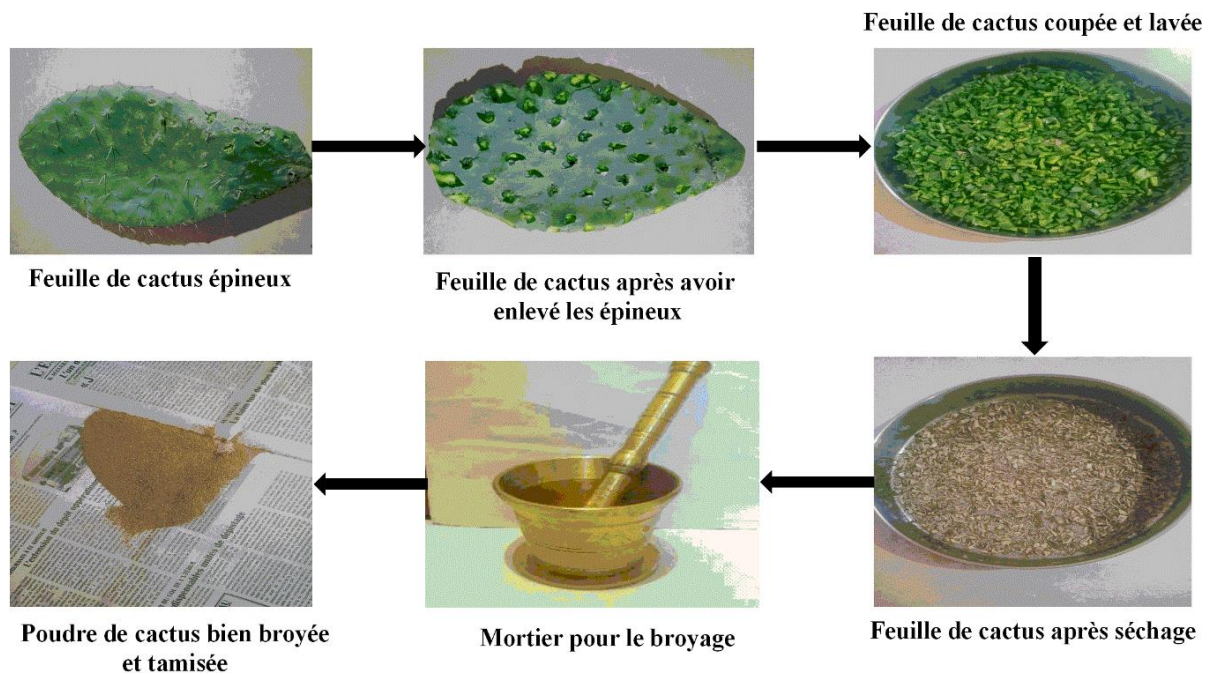


Figure IV.2 : Les étapes de la préparation de la poudre PFCE.

IV.2.3 Préparation des matériaux composites :

Dans cette présente étude plusieurs formulations à base de polyéthylène ont été préparées avec des taux de la poudre de feuilles de cactus épineux variant de 0%, 5%, 15%, 25%. Les quantités nécessaires du PEHD et PFCE sont présentés dans le **Tableau IV.2**.

Tableau IV.2 : La composition des différentes formulations.

Formulations(%) (PEHD/PFCE)	PEHD(g)	PFCE(g)
F0 (100/0)	150	0
F1 (95/5)	142.5	7.5
F2 (85/15)	127.5	22.5
F3 (75/25)	112.5	37.5

Tout d'abord, et comme une première étape, chaque formulation des composites PEHD/PFCE est mise dans une bouteille fermée et mélangée jusqu'à ce que le mélange devienne homogène.



Figure IV.3 : la bouteille de mélange.

IV.2.3.1 Malaxage

La préparation des composites a été faite dans un mélangeur à deux cylindres (calandre) de marque IQAP LAP à l'unité CP2K Skikda, avec une vitesse de rotation égale à 32 tr/min. La température a été fixée à 170°C, dans un temps de mélange de 10 min. Les feuilles de composites de 1mm d'épaisseur qui vont servir à la préparation des éprouvettes par le procédé de moulage par compression ont été récupérées.

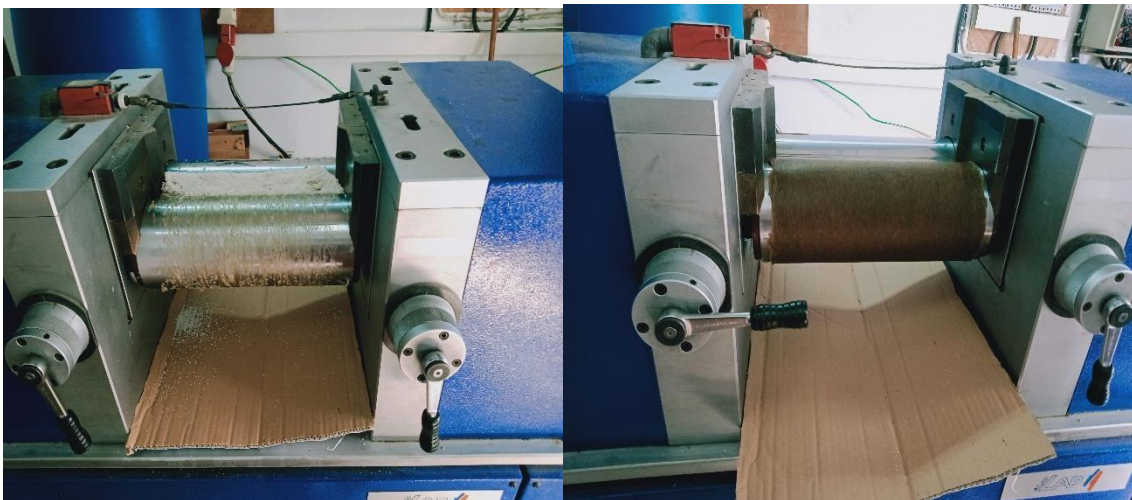


Figure IV.4 : Le malaxage du PEHD avec PFCE sur le mélangeur.

IV.2.3.2. Broyage

Les feuilles obtenues ont été découpées en petits bandelettes.

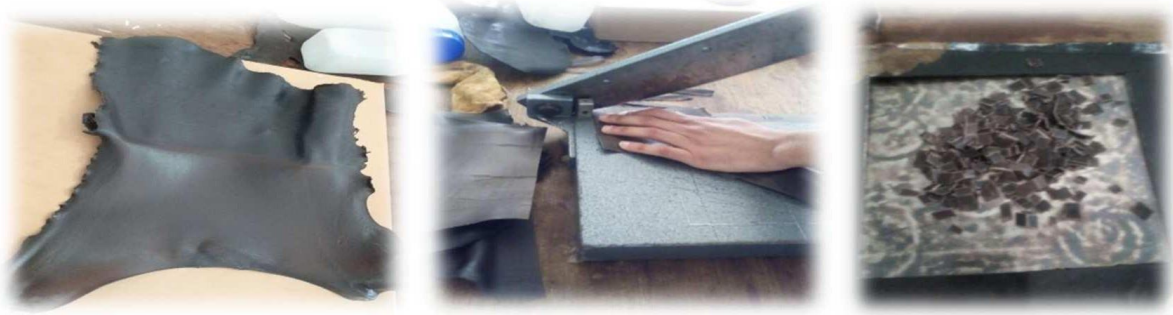


Figure IV.5 : la feuille coupée en petits morceaux (Photo originale) [3].

IV.2.3.2. Moulage par compression

Les films obtenus par calandrage sont découpés en petits morceaux puis introduits entre les deux feuilles de téflon isolant intercalées entre deux plaques métalliques d'une presse de marque CARVER. Puis ils sont chauffés à une température de 190°C, pendant un temps de séjour de 15mn. Différentes formes d'échantillons d'épaisseur de 3mm sont obtenues qui feront l'objet de différentes caractéristique.

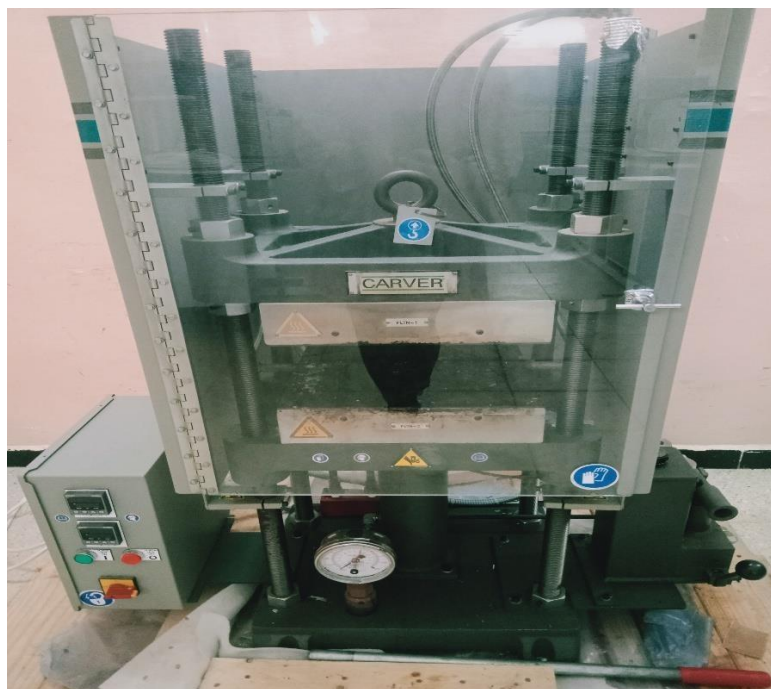


Figure IV.6 : La presse hydraulique.



Figure IV.7 : la préparation des éprouvettes.

IV.3 Les techniques de caractérisation

Cette partie décrit les différentes techniques utilisées pour la caractérisation physique et mécanique des matériaux élaborés.

IV.3.1 Caractérisation physique

IV.3.1.1 La densité

La densité à 23° est mesurée par la technique de la colonne à gradient de densité à l'aide d'un équipement de marque CEAST de type 6001 selon la norme ASTM D-1505.

Les échantillons à analyser peuvent être coupés sous n'importe quelle forme et doivent avoir des dimensions qui permettent d'avoir la position la plus précise. Il faut prendre soin de couper les échantillons à partir du centre de gravité d'un cercle rempli avec une épaisseur de 2 mm qui est déjà moule à l'aide d'une presse hydraulique. Les échantillons ainsi rincés par l'isopropanol sont introduits dans la colonne, le repérage de leurs hauteurs nous permette de déterminer les valeurs de la densité moyenne sur trois essais [3].

Les valeurs de la densité de chaque échantillon ont été calculées en utilisant la formule suivante :

$$\text{Densité (à 23°C)} = (Y/Z)*(B-A) + A \quad (\text{IV.1})$$

Ou :

Y : distance entre l'échantillon et le flotteur de densité basse.

Z : distance entre les deux flotteurs.

A : densité du 1^{er} flotteur supérieur.

B : densité de 2^{eme} flotteur inferieur.



Figures IV.8 : Principe de l'essai de la densité [3].

IV.3.1.2 Essai d'absorption de l'eau

Les échantillons sont sèches dans un four sous vide à 100°C pendant 4 heures, Ils sont ensuite immergés dans un bécher rempli d'eau distillée à température ambiante. Des prélèvements périodiques chaque 24 heures sont effectués, l'eau à la surface de l'échantillon est absorbée avec un papier absorbant et l'échantillon est pesé de nouveau [3].

L'échantillon après imbibition par l'eau, a la masse séchée de l'échantillon, Il est défini par la relation suivante :

$$\text{Taux d'absorption d'eau (\%)} = (M_t - M_0) / M_0 \times 100 \quad (\text{IV.2})$$

M_0 : masse de l'échantillon sec

M_t : masse de l'échantillon après absorption

IV.3.2 Caractérisation mécanique

IV.3.2.1 Essai de traction

L'essai de traction est utilisé couramment pour la détermination des comportements mécaniques des matériaux.

Premièrement, On exerce une force de traction sur un cylindre de longueur qu'on a déterminé, car les résultats d'essai sont influencés par la précision de mesure des dimensions de l'éprouvette, Jusqu'à sa rupture. Puis, en enregistrant la force F appliquée à l'éprouvette par la machine de traction et son allongement progressif.

Les essais de traction sont effectués à l'aide d'une machine de traction universelle de type TesT GMBH.

- L'essai se fait à la température ambiante (laboratoire).

-La vitesse de déformation est fixée à 20mm/min.

Cet essai permet la détermination de nombreuses grandeurs normalisées parmi eux :

- a) **Module d'élasticité** : C'est le rapport de la contrainte de traction maximale qu'une matière peut supporter à la déformation correspondante la rigidité [4], il s'exprime comme suit :

$$E = \sigma / \varepsilon \quad (IV.3)$$

Avec :

E : module d'élasticité

σ : contrainte (N/m²)

ε : allongement ou déformation (%)

- b) **Contrainte à la rupture** : La charge de traction supportée par l'éprouvette à l'instant de sa rupture par unité de surface, elle est donnée par l'expression suivante [4].

$$\sigma = F / S \quad (IV.4)$$

F : charge de traction supportée par l'éprouvette (N).

S : section initial (m²).

- c) **L'allongement à la rupture** : ou déformation à la rupture, est le changement de longueur par rapport la longueur initiale [4], il indiqué en pourcentage.

$$\varepsilon = (\Delta L / L_0) * 100(\%) \quad (IV.5)$$

L₀ : longueur initiale de l'éprouvette.

L: longueur finale de l'éprouvette.

Avec :

$$\Delta L = L - L_0 \quad (IV.6)$$

- d) **La limite d'élasticité** : c'est la première valeur de charge sur la courbe contrainte/déformation, à laquelle l'inclinaison de la courbe devient orientale.



Figure IV.9 : L'appareille d'essai de traction.

IV.3.3 Caractérisation morphologique par microscopie optique

Afin d'étudier la morphologie des matériaux et vérifier la dispersion des fibres dans les matériaux composites, la microscopie optique est utilisée pour prendre des photos de surface des films obtenus. L'appareillage utilisé est un microscope optique de marque OPTIKA Microscopes ITALY.



Figure IV.10 : L'appareillage de microscope optique.

Références Bibliographiques :

[1] Atamnia Amira et Benzedira Hadjer, (Etudes et valorisation d'une fibre biodégradable dans le domaine des composites), mémoire de master en pétrochimie et procédés polymères, université 20 Aout 1955 Skikda, 2017.

[2] MERAREB Imen et LEKHCHINE Souheyr. « Elaboration et caractérisation d'un matériau composite a charge végétale (poudre de coquille de noix) ». Mémoire de Master en Génie des polymères, Université 20 aout 1955 SKIKDA 2019.

[3] BOUREGA Sabrina et LOUCHI Soumaya. « L'effet de l'incorporation d'une charge végétale (Cypres) sur les propriétés de PEHD ». Mémoire de Master en Génie des polymères, Université 20 aout 1955 Skikda, 2019.

[4] Méthode d'essai, www.ul TTC.com/fr/prestations/methodes-d'essai/mecanique/shore-a-et-shore-d.html .

Chapitre V :
Résultats et
Discussions

V.1 Introduction

Cette partie du projet comprend les principaux résultats obtenus. Les caractéristiques mécaniques, physiques, et morphologiques des matériaux composites PEHD/PFCE préparés avec différents taux de la charge sont traitées.

V.2 Etude physique

IV.2.1 La densité

Les propriétés physiques des échantillons synthétisés sont étudiées par la mesure de la densité de chacun d'eux. Les valeurs obtenues sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau V.1 : Les valeurs de densité des composites PEHD/PFCE.

Taux de charge (%)	0%	5%	15%	25%
La densité	0.9541	0.9418	0.9326	< 0.93

D'après les résultats trouvés, on remarque que la densité des matériaux composites est sensiblement inférieure à celle de la matrice pure. L'ajout d'une phase organique végétale (léger) au polymère conduit à une diminution de la densité.

La diminution de la densité en fonction de l'augmentation de taux de la charge peut être expliquée par l'occupation du volume libre par les particules moins denses.

V.2.2 Test d'absorption d'eau

Afin d'évaluer le taux d'absorption d'eau des matériaux composites préparés, des essais d'absorption ont été appliquées.

Les résultats de test sont regroupées dans la **Figure V.1**.

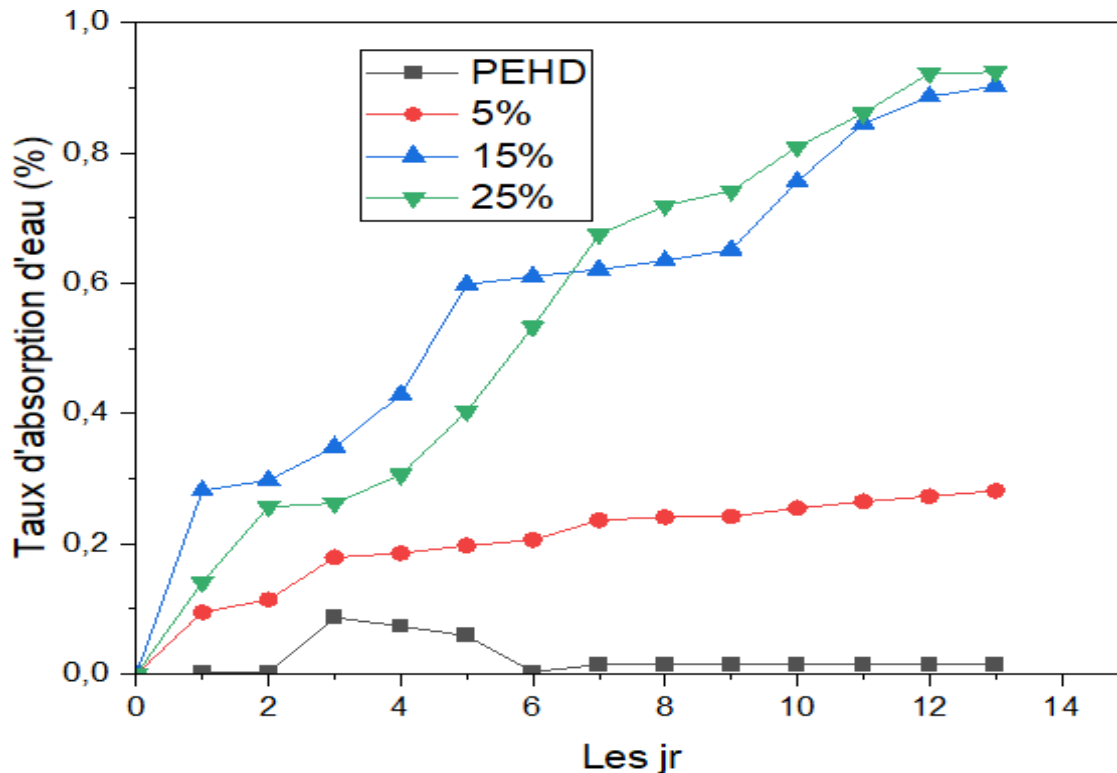


Figure V.1 : L'évolution du taux d'absorption d'eau du PEHD Pur et des composites PEHD/PFCE.

D'après les résultats on remarque que le taux d'absorption d'eau des composites dépend directement du temps d'expérience.

Le taux d'absorption d'eau est augmenté avec l'augmentation du pourcentage de la charge dans le composite.

Un taux d'absorption d'eau très important est observé dans le matériau composite PEHD/PFCE avec 25 % de la fibre végétale.

Pour le PEHD pure, on enregistre une très faible absorption d'eau par rapport aux composites PEHD/PFCE chargés en poudre de cactus ce qui confirme le caractère hydrophile de la charge.

V.3 Etude de l'effet de taux de charge sur les propriétés mécaniques des composites PEHD/PFCE

V.3.1 Les propriétés mécaniques des composites obtenus par le test de traction

a) La contrainte maximale (la limite d'élasticité)

La limite d'élasticité est la contrainte à laquelle un matériau cesse de se déformer de manière élastique, réversible et commence ainsi à se déformer de manière irréversible.

La **Figure V.2** représente la variation de la contrainte maximale en fonction du taux de charge PFCE.

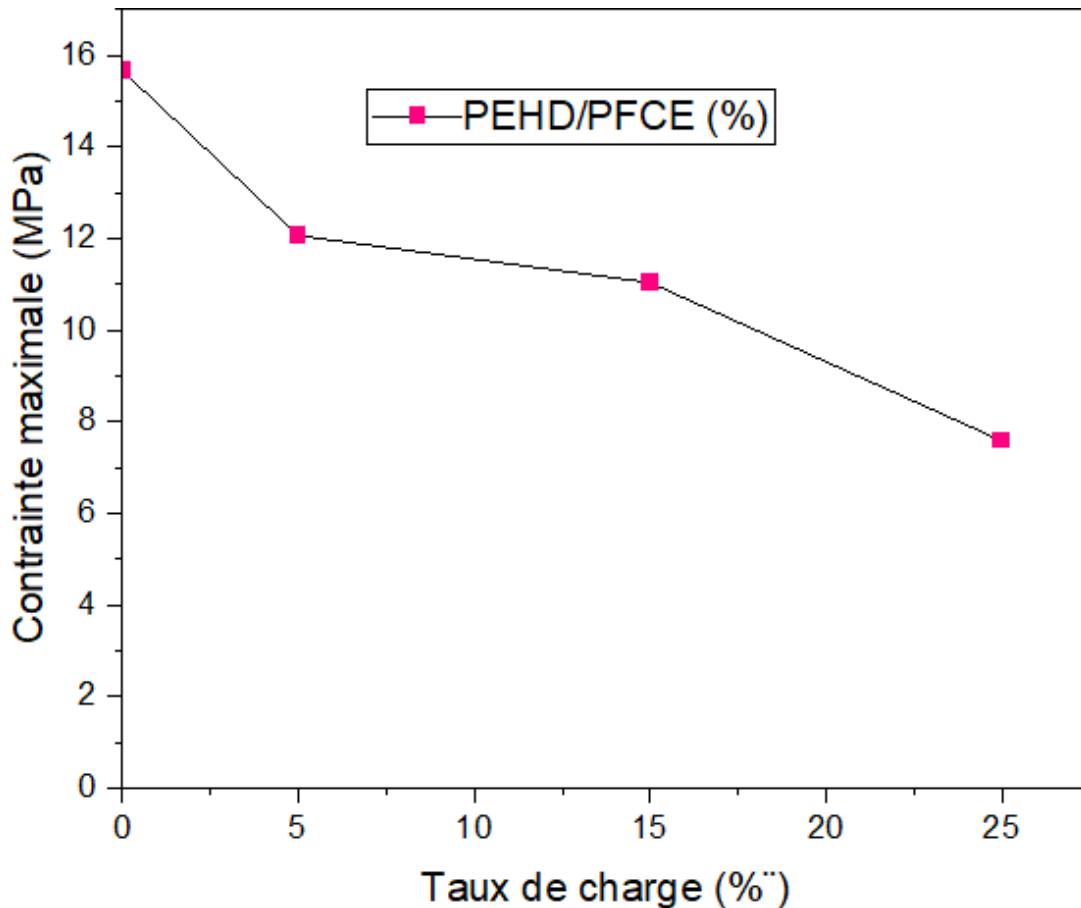


Figure V.2 : Variation de la contrainte maximale dans le domaine élastique en fonction du taux de charge PFCE.

Les données présentés par cette figure montrent une diminution de la contrainte maximale en fonction de l'augmentation des pourcentages en PFCE, on peut dire que les mélanges ont perdu leur propriété d'élasticité et ont gagné une rigidité par l'introduction des particules rigides de PFCE, cette diminution est également due au fait que la charge PFCE incompatible avec le PEHD.

b) La contrainte à la rupture

Les résultats obtenus de la contrainte à la rupture sont illustrés dans la **Figure V.3**.

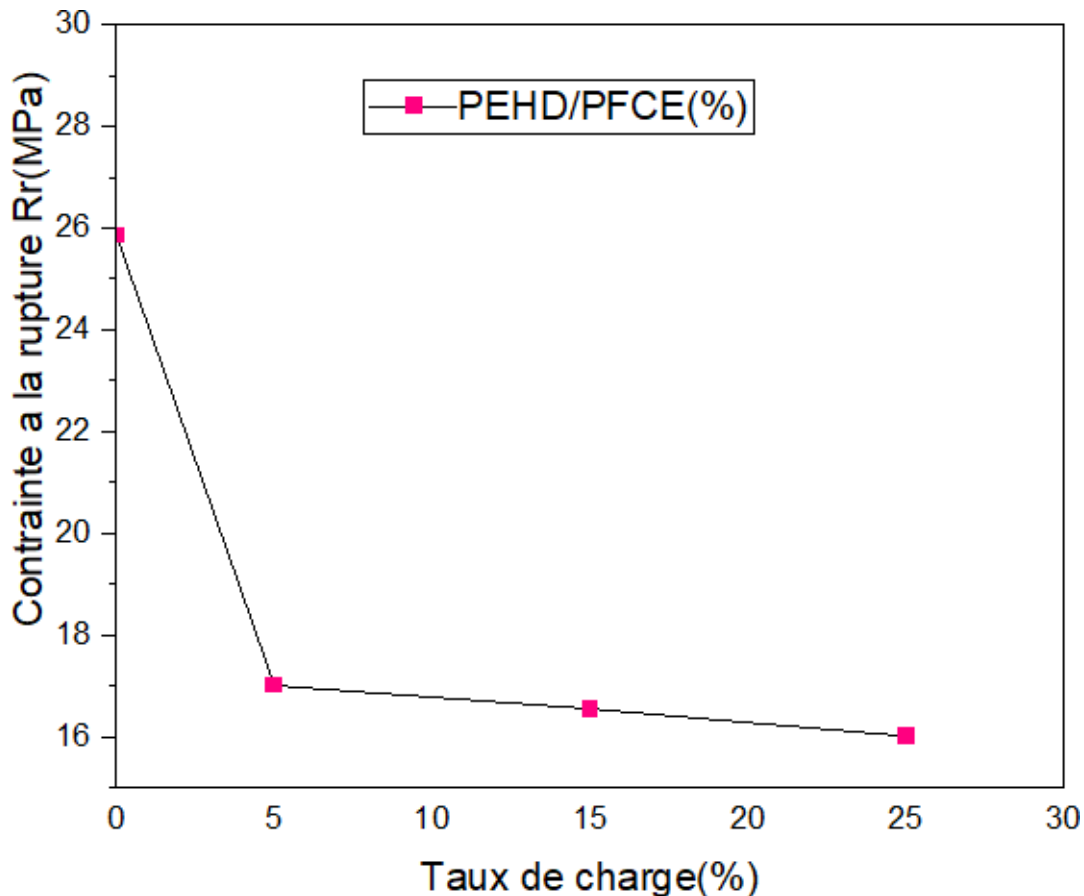


Figure V.3 : Variation de la contrainte à la rupture des composites PEHD/PFCE en fonction
Du taux de charge de PFCE.

D'après les résultats, on observe que la teneur en charge a une influence sur les propriétés mécaniques des matériaux composites. La diminution de la contrainte à la rupture en fonction de l'augmentation du pourcentage de charge PFCE, indique l'augmentation de la rigidité de notre matériau. Une moindre contrainte à la rupture signifie une moindre résistance mécanique du matériau composite. Ceci est en fait dû à la mauvaise dispersion des particules de charge végétale au sein de la matrice PEHD.

c) La déformation à la rupture (l'allongement à la rupture)

Cette caractéristique définit la capacité d'un matériau à s'allonger avant de rompre lorsqu'il est sollicité en traction. Les résultats de la déformation à la rupture des composites PEHD/PFCE en fonction de la teneur de charge sont représentés sur la **Figure V.4**.

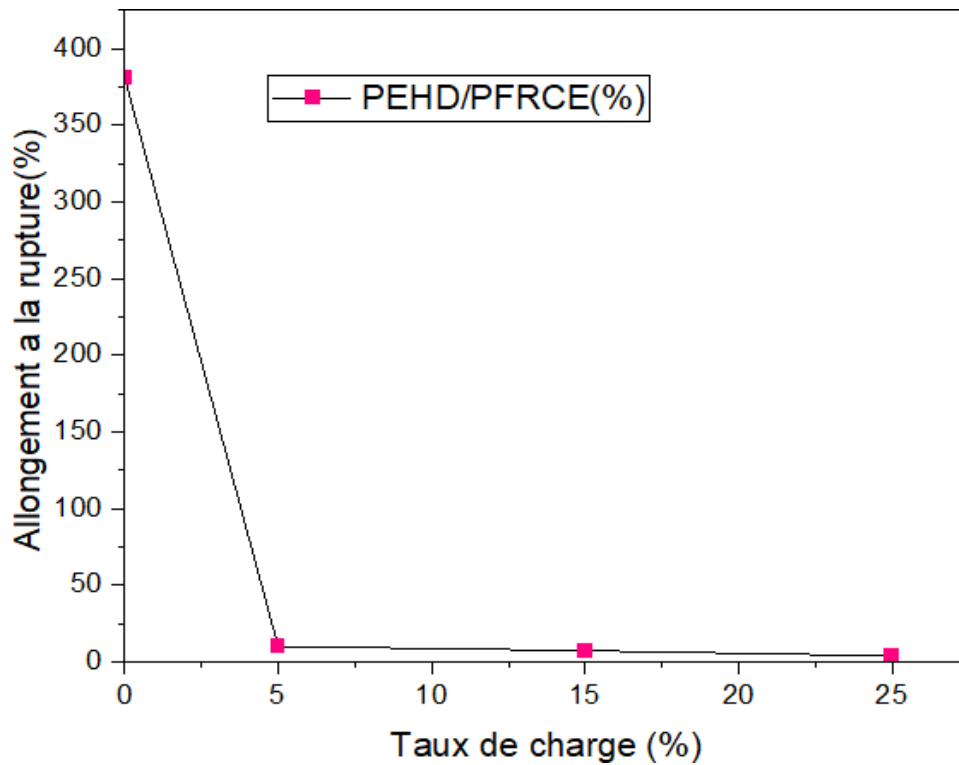


Figure V.4 : La variation de l'allongement à la rupture des composites PEHD/PFCE en fonction de taux de charge PFCE.

Les données montrent que l'allongement à la rupture des échantillons est diminué lorsque le taux de la fibre organique est augmenté, ce qui signifie que le matériau est devenu plus rigide par l'ajout de cette charge, perd sa souplesse, et sa résistance au choc induit une augmentation de la résistance à cause de l'effet des particules de charge qui rendent le matériau rigide.

d) Le module de Young (le module d'élasticité)

Le module de Young est la pente initiale de la courbe de déformation-contrainte.

Les résultats du module d'élasticité des composites PEHD/PFCE en fonction du taux de la charge sont représentés dans la **Figure V.5**.

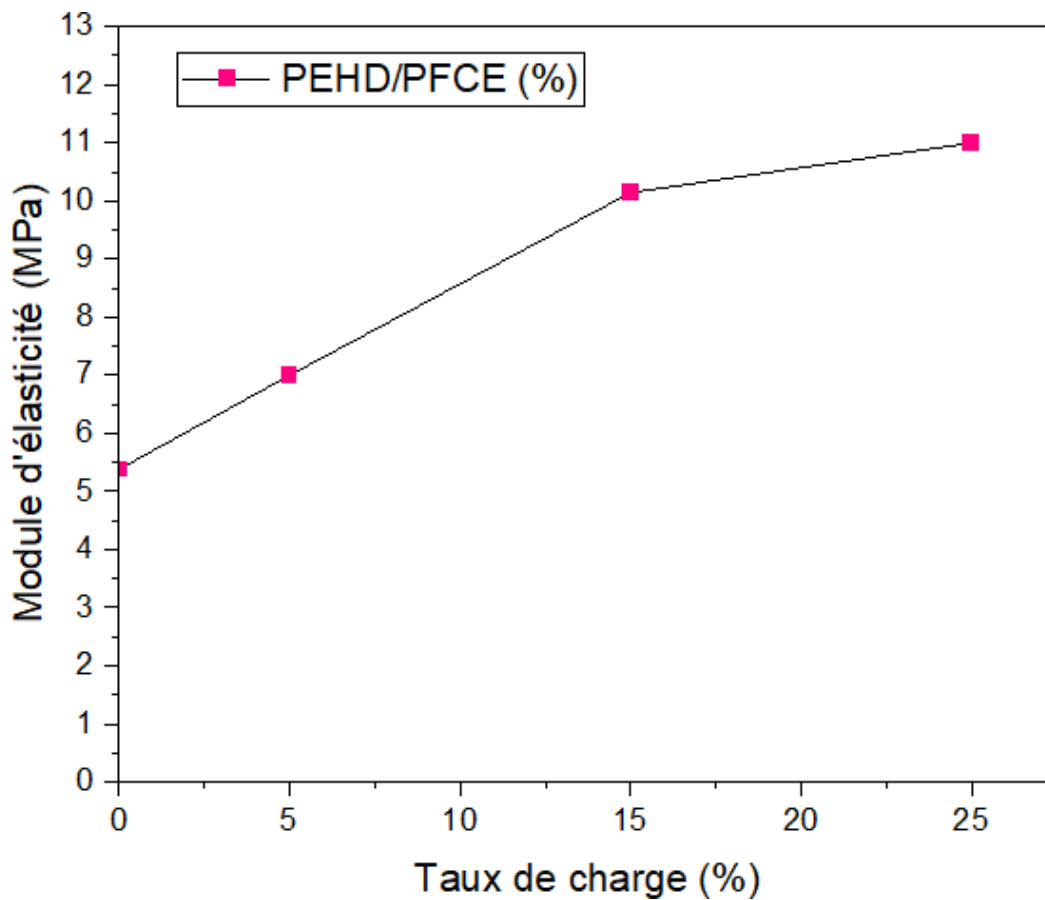


Figure V.5 : La variation de module d'élasticité (MPa) en fonction de taux de charge PFCE.

D'après la **Figure V.5** on remarque que les propriétés d'élasticités sont affectées par la teneur en matière organique ajoutée. L'augmentation de module d'élasticité est proportionnelle avec l'augmentation de taux de charge PFCE, donc la présence de la poudre dans le composite PEHD/PFCE augmente le module de Young par rapport aux PEHD pur. Ce composite devient plus rigide et perd son élasticité, aussi sa résistance aux chocs entraîne une augmentation de la résistance ce qui due à l'action des particules de charge qui rendent le matériau solide.

V.4 Morphologie par microscopie optique

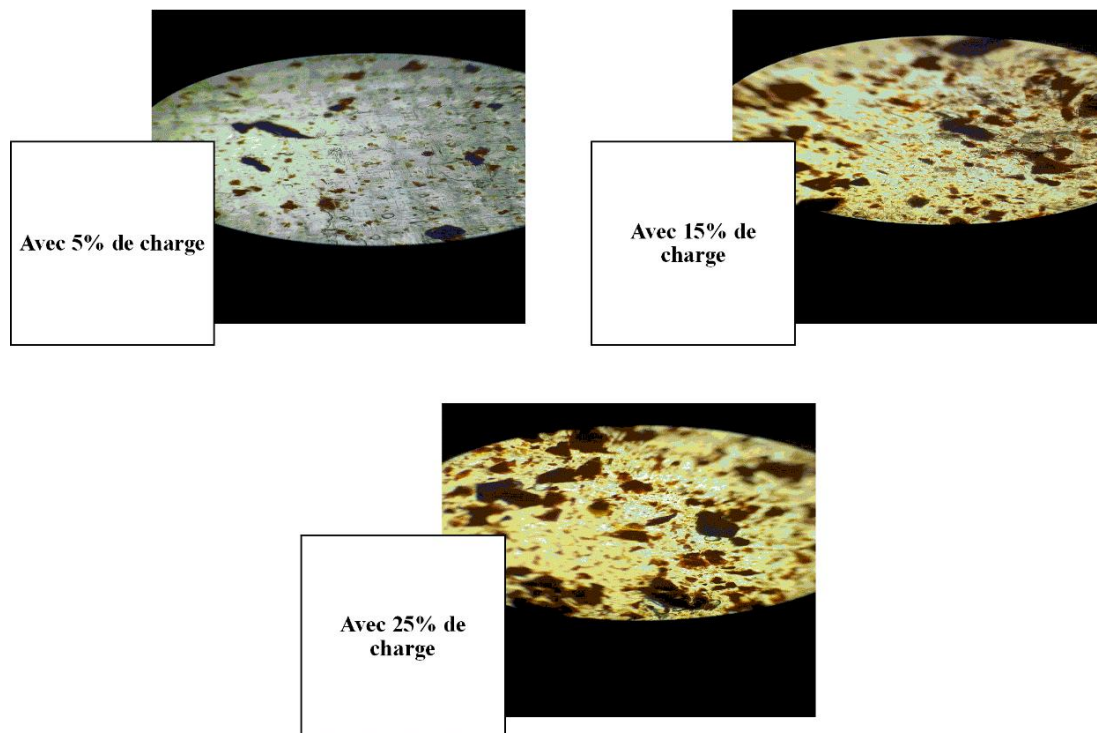


Figure V.6 : La morphologie des composites PEHD/PFCE à différent taux de charge.

D'après la **Figure V.6** on observe que les agglomérats formés par les particules de charge augmentent avec l'augmentation de taux de charge à cause de la mauvaise dispersion des particules de charge végétale au sein de la matrice PEHD.

Le phénomène d'agglomération est dû à la nature de charge hydrophile dans une matrice hydrophobe.

V.5 Conclusion

D'après tous les résultats, On peut conclure que l'addition de poudre de feuille de cactus épineux n'a pas un grand effet sur les propriétés du PEHD, ceci est dû à la mauvaise dispersion des particules de charge PFCE dans la matrice PEHD et l'absence totale des interactions charge/matrice.

***Conclusion
Générale***

Conclusion Générale

L'objectif principal de cette étude était l'élaboration et la préparation des nouveaux matériaux composites à base d'une fibre végétale (feuille de cactus épineux), en variant le pourcentage de cette charge organique (0%, 5%, 15%, et 25%) afin d'étudier leurs effets sur les propriétés de PEHD, telles que les propriétés physique (la densité, l'absorption d'eau), les propriétés mécaniques (test de traction) et les caractéristiques morphologiques.

Les résultats issus de différentes méthodes de caractérisations nous ont permis de conclure les points suivants :

- L'analyse de la densité montre que sa valeur diminue avec l'augmentation de la teneur en charge (0.9541, 0.9418, 0.9326, et <0.93 pour 0, 5, 15, et 25% respectivement), ce que peuvent être expliquée par l'occupation du volume libre par des particules moins denses.
- Le taux d'absorption d'eau est proportionnelle avec l'augmentation du pourcentage de la charge dans le composite, où le PEHD/PFCE avec 25% présent un grand taux d'absorption.
- La diminution de la contrainte maximale en fonction de l'augmentation de taux de la charge.
- La diminution de la contrainte à la rupture en fonction de l'augmentation de taux de la charge organique.
- La diminution de l'allongement à la rupture en fonction de l'augmentation de taux de la fibre végétale.
- L'augmentation de module d'élasticité est proportionnelle avec l'augmentation de taux de charge PFCE.
- Les agglomérats formés par les particules de charge augmentent avec l'augmentation de taux de charge.

Perspectives :

Pour une poursuite et un développement de ce travail, nous avons formulés les perspectives suivantes :

- Traitement chimique des charges utilisées (modification de la surface des fibres).
- L'étude des propriétés rhéologiques et thermiques.
- L'étude des propriétés thermiques par analyse calorimétrique différentielle (DSC) et analyse thermogravimétrique (ATG).
- L'utilisation d'agent comptabilisant, comme le polyéthylène-anhydride maléique (PE-g-MA).
- Etudier le vieillissement des composites à base des fibres lignocellulosiques avec différents taux de charge.