

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université A. MIRA – BEJAIA
Faculté de Technologie
Département de Génie des Procédés



Mémoire de Fin de Cycle

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

En Génie des Procédés

Option : Génie des Polymères

Thème :

Elaboration et caractérisation d'un composite à base de polyéthylène chargé d'une fibre végétale

Présenté par :

AMAUCHE Thinhinane
AMEUR Chahinaz

Encadré par :

Dalila HAMMICHE
Lisa KLAAI

Devant le jury composé de :

Président : Pr. A. HABI

Examinatrice : MCB. L. ZAIDI

**Année universitaire
2019/2020**

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des schémas	
Liste des abréviations	
Introduction générale	1
Chapitre (1): Etude bibliographique sur les composites	3
I.1. Historique.....	4
I.2. Définition	4
I.3. Caractéristiques générales des matériaux composites	5
I.4. Constituants des matériaux composites	5
I.4.1. Matrice polymère	5
a. Les thermodurcissables.....	6
b. Les thermoplastiques	7
c. Les Elastomères	9
❖ Aperçu sur le polyéthylène	9
1. Définition	10
2. Types de polyéthylène	11
3. Les propriétés du polyéthylène	12
4. Applications du polyéthylène	13
5. Avantages et inconvénients du polyéthylène	15
6. Méthodes de traitement du polyéthylène	15
7. Recyclage du polyéthylène	15
8. Production et consommation du PE.....	16
I.4.2. Le renfort	16
❖ Les fibres naturelles.....	17
1. Classification des fibres naturelles.....	17
2. Composition chimique des fibres végétales.....	18
a. La Cellulose.....	19
b. L'hémicellulose.....	19
c. La lignine.....	20
3. Avantages et inconvénients des fibres végétales	21
❖ Fibre de luffa	21
1. Définition	21

2. Informations descriptives de Luffa	21
3. Croissance de Luffa	22
4. Types de Luffa	23
5. Architecture de l'éponge de Luffa	24
6. Domaines d'utilisation de Luffa	25
Chapitre (2): Etude bibliographique d'Amer N. Jarad et al (2014).....	27
II.1. Introduction.....	28
II.2. Matériels et méthodes	29
II.2.1. Produits utilisés	29
II.2.2. Méthode	29
II.3. Résultats et discussion	32
II.4. Conclusion	37
Conclusion générale	38
Références bibliographiques	

REMERCIEMENTS

Avant de démarrer ce travail qui représente la fin d'un parcours d'étude riche en expériences humaines et académiques il nous apparaît opportun de remercier le grand Dieu le créateur de l'univers qui nous a dotées d'intelligence et de patience, qui nous a maintenues en santé en cette période si difficile que traverse le monde pour mener à bien cette année d'étude.

Nos sincères gratitudee à M^{me} Dalila HAMMICHE pour la qualité de son encadrement, son suivi et ses conseils, son encouragement ainsi que le soutien moral qu'elle a pu nous apporter et son intérêt incontestable qu'elle porte à tous les étudiants.

Nous remercions aussi la doctorante M^{me} Lisa KLAAI de nous avoir accordé de son temps et qui nous a aidées pour bien mener chaque étape de ce travail à travers ses remarques pertinentes et ses conseils.

Nous tenons également à remercier les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant de juger notre travail.

Dans l'impossibilité de citer tous les noms, nos sincères remerciements vont à tous ceux et celles, qui de près ou de loin, ont contribué par leurs conseils et leurs compétences à la réalisation de ce projet de fin d'études.

Enfin, nous n'oserions oublier de remercier tout le corps professoral de l'Université A-Mira de BEJAIA, pour le travail énorme qu'il effectue pour nous créer les conditions les plus favorables pour le déroulement de nos études.

Merci



DEDICACES

Rien n'est aussi beau à offrir que le fruit d'un labour qu'on dédie du fond du cœur à ceux qui nous sont chers et qu'on remercie en exprimant la reconnaissance et la gratitude durant toute notre existence.

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon amour éternel, mon grand respect et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon éducation et mon bien être ainsi que tout le soutien et l'amour que vous m'avaient toujours portée .

***Maman, Papa,** que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitterai jamais assez. Puisse Dieu, le très grand, vous accorder santé, bonheur et longue vie et j'espère que votre bénédiction m'accompagnera de jour en jour.*

***Youva,** cher grand frère, la distance des frontières qui nous sépare est bien grande, mais rien n'est plus fort que l'amour qui nous lie, je te dédie ce travail comme un remerciement pour ta présence et tes encouragements.*

*Ainsi que pour toi ma petite sœur **Thinifssane Maya** afin que tu puisses suivre le même parcours de réussite. En témoignage de mon affection fraternelle, je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de succès et que Dieu, le tout puissant, vous protège et vous garde.*

A toute ma famille maternelle et paternelle, je vous dédie ce travail avec l'expression de mon respect le plus profond, mon attachement et mon affection la plus sincère.

*A mes précieuses amies de toujours **Nina et Lynda,** à **Chahinez, Fahima et Kamélia,** qui m'ont accompagné durant ces années d'études je veux vous remercier pour tout ce qu'on a pu vivre ensemble ainsi que pour nos souvenirs les plus délirants et vos conseils de malade; merci pour chaque fou rire partagé avec vous.*

A tous ceux que je n'ai pas pu citer leurs noms, veuillez trouver dans ce travail l'expression de mon amour et mon respect.

Thinhinane.

Dédicaces

Je dédie ce travail :

*A mes très chers parents, qui sont le pilier dont je me suis lourdement reposé,
source de soutien sans répit, vous avez contentés de m'encourager et de croire en moi, rien au monde ne vaut vos efforts fournis pour mon éducation et mon bien être. Puisse Dieu, le tout puissant, vous préserver et vous accorder santé, longue vie et bonheur*

A mes chères sœurs Wissal et Assil, mon chère frère Lyes: les mots ne suffisent guère pour exprimer l'attachement, l'amour et l'affection que je porte pour vous .je vous dédie ce travail avec tous mes meilleurs voeux de bonheur et de réussite.

A mes grands-parents paternels et maternels qui m'ont appris les valeurs de la vie. A tous les membres de ma famille, Je vous dédie ce travail en témoignant de mon attachement, l'amour et de mon affection que j'éprouve pour vous.

*Une spéciale dédicace à deux personnes qui comptent énormément pour moi, et pour qui je porte beaucoup de tendresse et de respect : Nesrine et Thiziri
Aucune dédicace ne saurait exprimer tout l'amour que j'ai pour vous, Votre joie et votre gaieté me comblent de bonheur. Puisse Dieu vous garder, éclairer votre route et vous aider à réaliser à votre tour vos vœux les plus chers.*

A mes très chères amies : Thinhinane, fahima et kamélia , je vous remercie pour les moments inoubliables, nos aventures, nos fous rires, stress et bêtises ; merci pour le plaisir dont j'ai joie avec vous.

Chahinaz

Liste des figures

Figure I. 1 : Composition d'un matériau composite.	5
Figure I. 2 : Types de matrice.	6
Figure I. 3 : Les granulés du polyéthylène.	10
Figure I. 4 : Morphologie semi-cristalline du PE.	10
Figure I. 5 : Les types de PE.	11
Figure I. 6 : Les applications du PE dans l'emballage.	14
Figure I. 7 : Les applications du PE dans les fibres et textiles.	14
Figure I. 8 : Les applications du PE dans les tuyaux et autres.	14
Figure I. 9 : Les codes d'identification du PE.	15
Figure I. 10 : Les différents types de renfort de base.	17
Figure I. 11 : Classification des fibres naturelles.	18
Figure I. 12 : Structure d'une fibre végétale.	18
Figure I. 13 : Le Luffa, (A) fruit jeune aux graines blanches, (B) fruit mature et sec aux graines noires.	22
Figure I. 14 : Le Luffa acutangula.	23
Figure I. 15 : Le Luffa cylindrica.	23
Figure I. 16 : Le Luffa operculata.	24
Figure I. 17 : Les différentes parties de l'éponge de Luffa.	25
Figure II. 1 : Le fruit de Luffa.	29
Figure II. 2 : Presse hydraulique.	30
Figure II. 3 : Machine de l'essai de traction du type Zwick/Roel type [BT1-FR2.5 TN.D14]	31
Figure II. 4 : Les courbes de contrainte - déformation du composite polymère avec luffa. ...	32
Figure II. 5 : Variation entre les modules de Young et le contenu de remplissage (% en poids).	34
Figure II. 6 : Variation entre la contrainte de traction et la teneur en charge (% en poids). ...	35
Figure II. 7 : Variation entre la contrainte de traction à la rupture et la teneur en matière de remplissage (% en poids).	35
Figure II. 8 : Variation entre la résistance à la traction et la teneur en matière de remplissage (% en poids).	36
Figure II. 9 : Variation entre l'allongement à l'élasticité et la teneur en matière de remplissage (% en poids).	36

Liste des tableaux

Tableau I. 1 : Caractéristiques de quelques thermodurcissables	7
Tableau I. 2 : Caractéristiques de quelques thermoplastiques	8
Tableau I. 3 : Principales différences entre les thermodurcissables et les thermoplastiques....	9
Tableau I. 4 : Principales propriétés des différents types de PE.....	12
Tableau I. 5 : Productions du PE par l'Union européenne en 2018 en tonne selon Eurostat.	16
Tableau I. 6 : Composition chimique de quelques fibres végétales	20
Tableau I. 7 : Plantation, floraison et récolte de Luffa.	23
Tableau II. 1 : Paramètres des propriétés mécaniques du composite Luffa/PEBD.....	32
Tableau II. 2 : Valeurs du module de Young.	33

Liste des schémas

Schéma I. 1 : Mécanisme de polymérisation du PE.	11
Schéma I. 2 : Structure de la cellulose.	19
Schéma I. 3 : Structure de l'hémicellulose.	19
Schéma I. 4 : Structure de la lignine.	20

Liste des abréviations

PE : Polyéthylène.

PEBD : Polyéthylène basse densité.

PEHD : Polyéthylène haute densité.

PEMD : Polyéthylène moyenne densité.

MI : Melt index ou indice de fluidité.

RPM : Rotation par minute.

Introduction

Par l'évolution qu'a connue le besoin humain, la conception de différents matériaux y était liée. Pour cela l'industrie, particulièrement, l'industrie de la transformation des matières plastiques et des matériaux composites, telle que nous la connaissons aujourd'hui, n'a cessé d'accomplir cet objectif en participant à l'amélioration de la qualité de vie, tout en utilisant des dispositions afin d'obtenir de nouveaux produits présentant un rapport qualité/prix intéressant grâce aux différentes combinaisons entre les polymères et les autres matériaux ce qui est résumé en un seul terme « les composites ».

Depuis leur arrivée dans les années trente et jusqu'à nos jours, ces matériaux composites sont présents dans pratiquement tous les secteurs industriels. Ils se font remarquer par leur évolution vers des produits à caractère économique en étant des matériaux moins coûteux, ainsi qu'un caractère écologique par l'utilisation des matières biodégradables ou recyclées. Ils sont également avantageux en termes de propriétés physiques, chimiques et mécaniques, mais aussi par leur facilité de mise en œuvre. Ces caractéristiques offrent un large choix de possibilités en termes d'utilisation, de design, de géométrie et d'assimilation de fonctions. S'adaptant parfaitement à toute sorte d'environnement, même les plus défavorables, leur intégration totale à notre quotidien peut même les faire passer inaperçus [1].

Grâce à leur abondance, résistance, légèreté et leur faible prix ; les fibres végétales utilisées dans la conception des matériaux composites, de plus qu'elles ne nuisent pas à la santé humaine en terme de manipulation, elles permettent de donner un bon résultat en s'associant avec plusieurs matériaux plus coûteux par l'amélioration de leur propriétés, cela ne nie pas l'existence de certains inconvénients tels que l'inconstance de leurs propriétés dépendante des conditions climatiques, leur caractère hydrophile responsable de la détérioration des propriétés du matériau par l'absorption d'humidité, mais aussi leur faible stabilité thermique [2].

Ce travail a pour but de concevoir et étudier les propriétés d'un composite à base de la matrice thermoplastique « polyéthylène », qui fait partie des matériaux ayant une longue durée de vie, mais aussi un grand taux de d'utilisation dans plusieurs domaines [3] notamment dans les emballages, grâce aux divers avantages que proposent ses différentes propriétés telles que sa légèreté, son excellente isolation électrique et sa bonne résistance aux produits chimiques [4], chargé d'une fibre végétale connue sous le nom de « Luffa », très répandue dans la région méditerranéenne mais aussi dans plusieurs coins du monde.

Afin d'accomplir l'objectif de notre étude, nous avons partagé le manuscrit en deux chapitres. Dans le premier chapitre, nous avons présenté un aperçu sur les matériaux composites conçus à partir d'une matrice thermoplastique et une fibre végétale comme renfort. Ensuite, par cause de la présente crise du virus de COVID-19, comme deuxième et dernier chapitre, nous avons étudié une expérience faite auparavant en 2014, à l'université de Bassora en Irak par Amer N. Jarad et al. sur l'étude des propriétés mécaniques du composite Luffa/PEBD.

CHAPITRE (I)

Etude bibliographique sur les composites

Généralités sur les matériaux composites

I.1. Historique

La naissance des matériaux composites est inconnue mais tous les écrits historiques comprennent des références à certaines figures des matériaux. Tel que la paille qui a été utilisée pour le renforcement des briques par les arabes, ainsi que le contreplaqué utilisé par les Egyptiens antiques pour l'obtention d'une bonne résistance mécanique, mais aussi les épées et les armures du moyen âge qui ont été réalisées par des couches de plusieurs matériaux [5].

En 1823, Charles Macintosh a eu l'idée de créer l'imperméable avec un composite à base du caoutchouc sur des tissus comme le coton.

A la suite du 20^{ème} siècle, plus précisément au cours de la seconde guerre mondiale, plusieurs matériaux composites ont été conçus à base de résines et des fibres de renfort pour être ensuite utilisés dans la construction aéronautique ainsi que dans le domaine de l'automobile. Mais leur développement continue jusqu'à nos jours.

I.2. Définition

Le terme « matériau composite » désigne un matériau constitué de l'assemblage d'au moins de deux éléments non miscibles et de nature différente, se complètent et permettent d'aboutir à un matériau solide hétérogène et anisotrope ayant des performances globales fortement améliorées par rapport à celles des composants pris séparément.

Un matériau composite est composé généralement d'une ou plusieurs phases discontinues réparties dans une phase continue [6]. Dans le cas de plusieurs phases discontinues de nature différente, le composite est dit hybride. La phase continue appelée la matrice, et la phase discontinue appelée le renfort ou matériau renforçant.

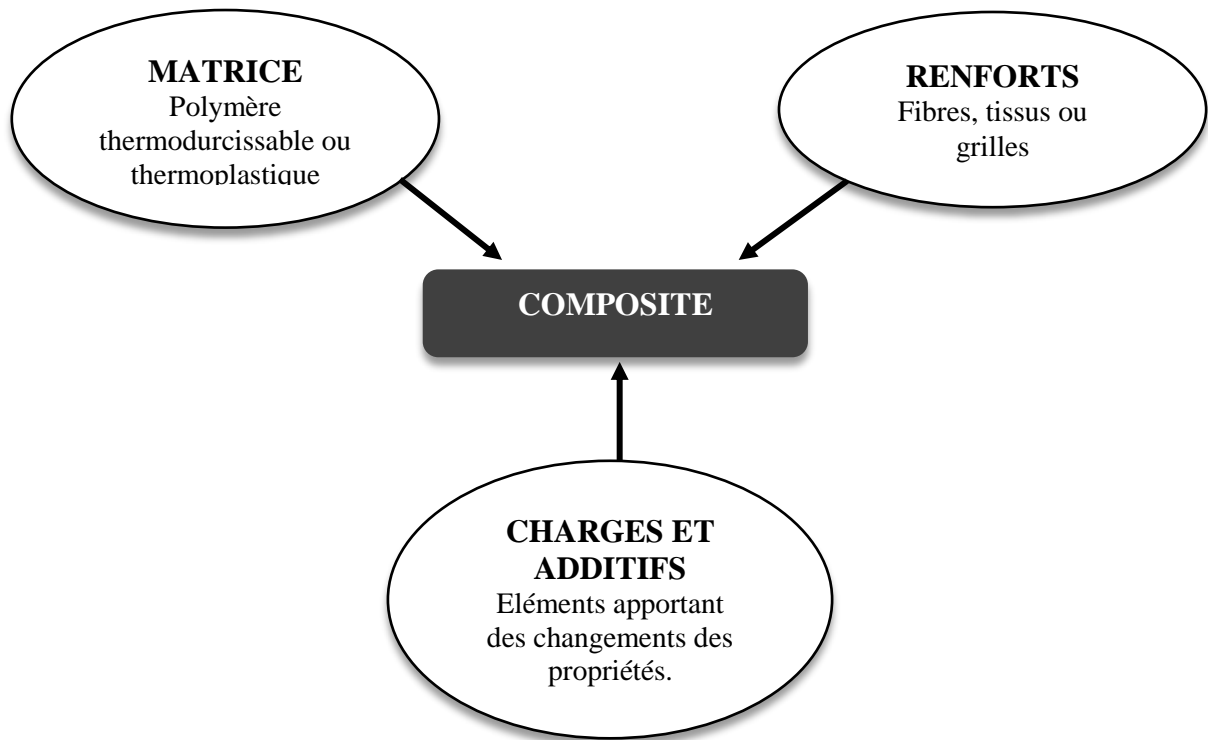


Figure I. 1 : Composition d'un matériau composite.

I.3. Caractéristiques générales des matériaux composites

- Les propriétés des matériaux composites dépendent [7]
 - des propriétés des matériaux constitutifs.
 - de distribution géométrique des fibres.
 - de l'interaction fibre-matrice.
- Pour accéder à la caractérisation d'un matériau composite, il sera nécessaire de spécifier [7]
 - La nature de l'interface matrice- renfort.
 - La nature des constituants et leurs propriétés.
 - La géométrie du renfort et sa distribution.

I.4. Constituants des matériaux composites

I.1.2. Matrice polymère

Dans la plupart de cas, la matrice qui compose le matériau composite est définie comme une matière solide, elle présente une résine polymère. Ces résines existent en grand nombre et chacune a un domaine particulier d'utilisation [8]. Elles doivent être en outre

suffisamment déformables et nécessitent une certaine compatibilité avec le renfort afin de pouvoir apporter aux matériaux composites des propriétés mécaniques assez élevées.

La matrice a plusieurs rôles comme :

- maintenir les renforts dans une forme compressée ;
- donner la forme voulue au produit final ;
- elle sert aussi à protéger les fibres contre la dégradation ainsi qu'un environnement agressif ;
- contrôler le fini de surface ;
- assurer le transfert de charges entre les fibres.

Le solide qui forme la matrice peut être d'origine céramique, métallique ou polymère [9].

La classification des types de matrices polymères couramment rencontrées est donnée sur la figure I.2.

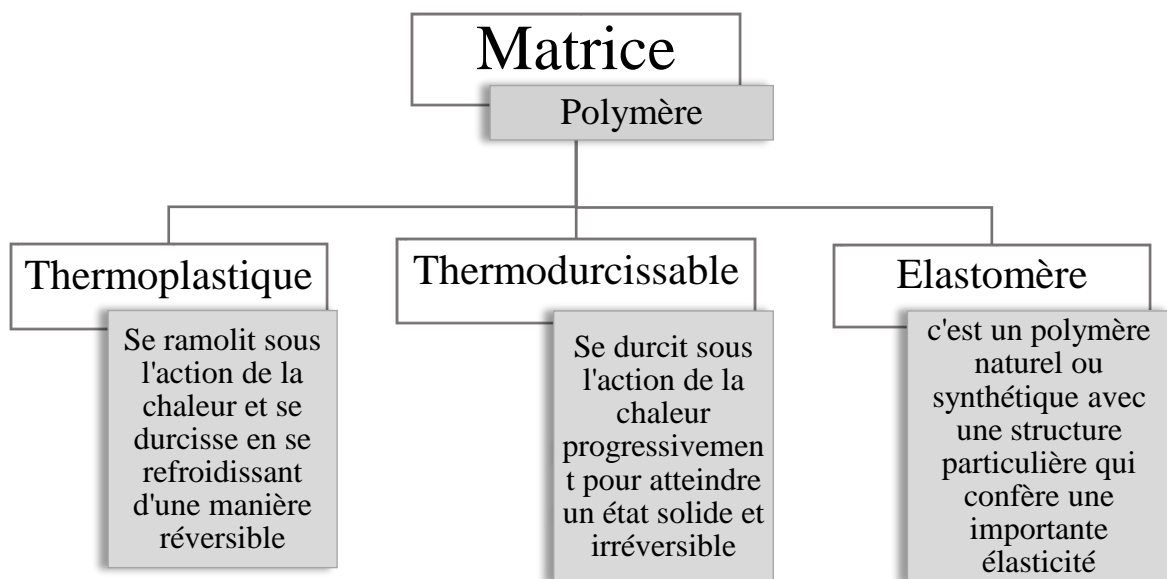


Figure I. 2 : Types de matrice [10].

a. Les thermodurcissables

Ceux sont des solides insolubles et infusibles, mis en forme de manière irréversible par des réactions chimiques entre la résine et le durcisseur, ce dernier assure la création de liaisons covalentes entre différentes chaînes moléculaires qui conçoivent le réseau tridimensionnel du polymère.

Les thermodurcissables sont énormément employés comme matrice dans les matériaux composites, vu leur faible viscosité avant durcissement, tel que la résine époxyde et les polyesters non saturés...etc. [11]

Tableau I. 1 : Caractéristiques de quelques thermodurcissables [12].

Résine	Densité	E (GPa)	σ (MPa)	T _{max} (°C)
Epoxyde	1.2	4.5	130	90-200
Polyuréthane	1.1	0.7-7	30	100
Polyester insaturé	1.2	4	80	60-200
Urée formaldéhyde	1.2-1.5	6-10	40-80	140

Parmi les résines thermodurcissables les plus utilisées actuellement sont : [13]

- **Les polyesters insaturés :** Elles sont sous la forme d'une solution polyacide + polyalcool qui se tendent sous l'action d'un catalyseur et de la chaleur. Au cours de la polymérisation, elles dévoilent le défaut d'émettre des vapeurs de styrène. Ces résines sont les plus utilisées dans les applications.
- **Les vinylesters :** ce sont des types des polyesters obtenus de l'acide acrylique, qui possèdent une bonne résistance à la fatigue ainsi qu'un bon comportement à la corrosion mais qui sont combustibles.
- **Les résines époxy (ou époxydes) ;**
- **Les résines phénoliques :** obtenues par la polycondensation du phénol et du formol ; elles ont une très bonne tenue au feu, sans fumée d'où leur principal emploi dans le ferroviaire. Mais difficiles à mettre en œuvre, présentant une fragilité et une sensibilité à l'humidité.
- **Les polyuréthanes :** possèdent une faible viscosité et cela facilite le bon remplissage du moule.

b. Les thermoplastiques

Les thermoplastiques présentent des chaînes polymères reliées entre elles par de faibles liaisons, ils sont sous forme solide (granulés, plaques...) qui se ramollissent par chauffage,

puis se solidifient par refroidissement. Ce type de polymère se découvre par sa grande utilisation dans tous les domaines, comme le poly (chlorure de vinyle) qui est utilisé dans la fabrication des tuyauteries, le polyéthylène sert à la conception des bouteilles, des jouets ou les sacs de supermarchés, le poly (acétate de vinyle) que l'on trouve dans les colles et adhésifs, le polypropylène pour les emballages alimentaires ou les revêtements de sols, le polystyrène qui participe à la composition des contenants alimentaires, etc. Leur grand avantage qui prend de plus en plus d'importance de nos jours est lié directement à leur recyclage et leur thermo-réversibilité [14].

Les thermoplastiques techniques qui présentent à l'état vierge de bonnes caractéristiques mécaniques sont les polymères les plus utilisés. Un renforcement à base de fibres leur accorde une meilleure tenue thermique et mécanique ainsi qu'une bonne stabilité dimensionnelle. Les principales matrices thermoplastiques utilisées ont toutes une tenue en température supérieure à 100 °C et sont les suivantes : [5]

- **Polyamide (PA)** : tenue au choc, bonne résistance à la fatigue et aux hydrocarbures;
- **Polytéréphtalate éthylénique et (PET, PBT)**: bonne rigidité, bonne ténacité
- **Polycarbonate (PC)** : tenue au choc;
- **Poly sulfure de phénylène (PPS)** : résistance à l'hydrolyse;
- **Polyoxyméthylène (POM)** : bonne tenue à la fatigue;
- **Polysulfurés (PSU et PPS)**: bonne stabilité chimique et à l'hydrolyse, peu de fluage, tenue au chaud;
- **Polypropylène (PP)** : peu coûteux et assez stable en température, mais combustible.

Tableau I. 2 : Caractéristiques de quelques thermoplastiques [12].

Polymère	T _g (°C)	T _f (°C)	Densité	σ (MPa)	E (GPa)
PP	5	165	0.92	30	1.2
PLA	50-60	150	-	40-60	3-4
PVC	75-105	160-220	1.39	58	2.9
PS	90-100	-	1.05	55	3.2

Tableau I. 3 : Principales différences entre les thermodurcissables et les thermoplastiques.

Propriétés	Matrices	
	Thermodurcissable	Thermoplastique
Etat de base	Liquide visqueux à polymériser	Solides prêts à l'emploi
Stockage	Réduit	Illimité
Mouillabilité des renforts	Aisée	Difficile
Moulage	Chauffage continu	Chauffage + refroidissement
Cycle	Long (polymérisation)	Court
Tenue de choc	Limitée	Assez bonne
Tenue thermique	Meilleure	Réduite (sauf nouveaux thermoplastiques)
Chutes de déchet	Perdu ou utilisé en charge	Recyclable

c. Les Elastomères

Ils sont composés de macromolécules linéaires de grande souplesse, avec des liaisons chimiques discontinues entre elles. Celles-ci obligent les molécules à revenir instantanément à leur configuration originale après une déformation, ce qu'on appelle « un comportement caoutchouteux » [15]. Parmi ce type de polymère on trouve le polybutadiène.

❖ Aperçu sur le polyéthylène

Dans l'industrie des matières plastiques, les polymères les plus utilisés à grande échelle sont les polyoléfines spécialement le polypropylène (PP) et le polyéthylène (PE) [16]. Ce dernier est le polymère thermoplastique le plus considérablement répandu dans le monde, avec une énorme diversité de domaines d'applications [17]. Sa découverte se fut en 1933 par Reginald Gibson et Eric Fawcett qui travaillaient pour la compagnie britannique Imperial Chemical Industries (ICI). Depuis près de 80 ans, il demeure un présent sujet de recherche.

Ayant le plus grand taux de production au niveau mondial, il représente plus de la moitié de la production mondiale de matières plastiques [18,19].



Figure I. 3 : Les granulés du polyéthylène.

1. Définition

Le polyéthylène est un matériau thermoplastique de la famille de polyoléfine. Sa molécule se présente sous forme de chaînes contenant 1000 à 2000 monomères. [20]

Le polyéthylène est un polymère semi-cristallin contient deux phases [21,22]:

- Une zone amorphe dans laquelle les chaînes sont disposées de manière désordonnée.
- Une zone cristalline dans laquelle les chaînes sont disposées de manière ordonnée. Elles se regroupent sous forme de lamelles. [21,23]

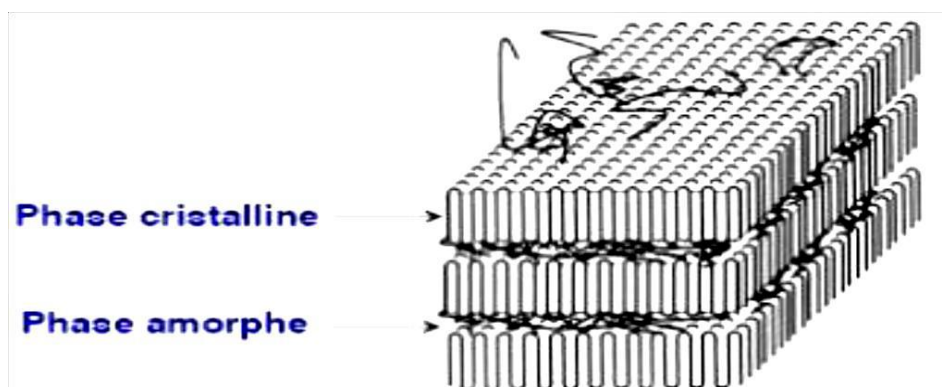


Figure I. 4 : Morphologie semi-cristalline du PE.

La formule chimique du polyéthylène se présente comme suit :

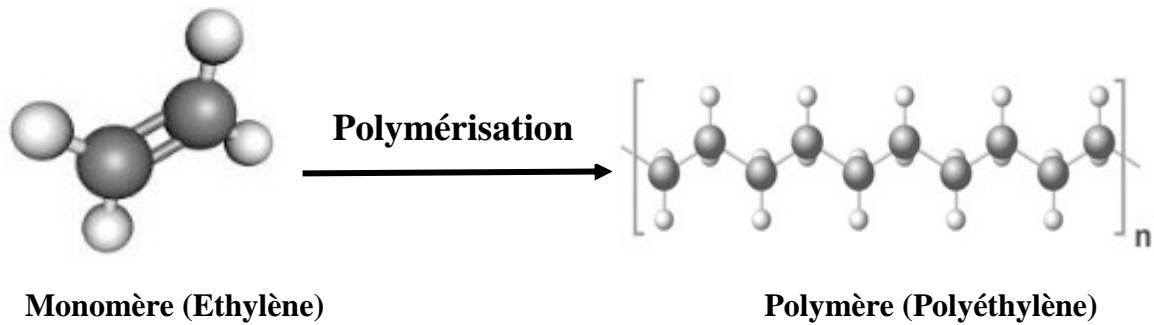


Schéma I. 1 : Mécanisme de polymérisation du PE.

2. Types de polyéthylène

Le polyéthylène, étant un thermoplastique, il possède des propriétés qui lui accordent une malléabilité à chaud et une thermoplasticité réversible. Mais il existe sous forme de trois natures différentes selon les modes de polymérisation:

- **Le polyéthylène haute densité (PEHD)** : obtenu à partir d'un procédé à basse pression.
- **Le polyéthylène basse densité (PEBD)** : est un polymère très ramifié, inversement au PEHD, on utilise un procédé à haute pression.
- **Le polyéthylène moyenne densité (PEMD)** : c'est en réalité un intermédiaire entre les deux types précédents. [24]

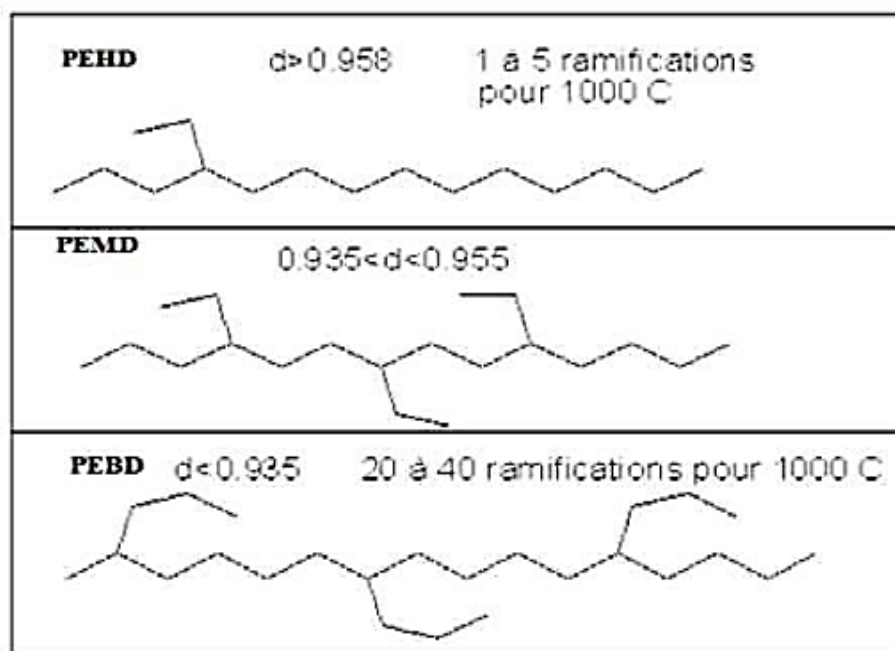


Figure I. 5 : Les types de PE [25].

3. Les propriétés du polyéthylène

Le polyéthylène possède de bonnes propriétés, tel que sa flexibilité élevée et sa transformation facile, ainsi qu'une résistance au choc et une stabilité dimensionnelle [26]. Toutes ces propriétés dépendent de la masse molaire du PE, et donc différentes d'un type à un autre.

Tableau I. 4 : Principales propriétés des différents types de PE [27].

Propriétés	Unités	PEBD	PEMD	PEHD
Masse volumique	g.cm^{-3}	0.915 à 0.935	0.93 à 0.945	0.945 à 0.970
Cristallinité	%	<40	40 à 60	60 à 80
T_f	°C	105 à 115	-	118 à 146
T_g	°C	-133 à -103	-	-120
Contrainte à la rupture	MPa	8 à 15	18 à 28	26 à 40
Allongement à la rupture	%	150 à 1000	200 à 1200	20 à 1000

a. Propriétés physiques

Le point de ramollissement marque la différence entre le PEHD et le PEBD, puisqu'il se situe au-dessus du point d'ébullition de l'eau pour l'un et au-dessous pour l'autre. Les objets réalisés avec le polyéthylène de haute densité, peuvent donc être stérilisés à la vapeur [28].

b. Propriétés chimiques

Le polyéthylène possède une très bonne stabilité chimique :

- Inattaquable par les acides (sauf les oxydants) et par les solutions de sels ;
- Résistants aux solvants organiques au-dessus de 80°C ;
- Pratiquement insoluble, à des températures inférieures à 60 °C ;
- Sensible à la fissuration sous contrainte en présence de savon, alcools, détergents ;
- Il se refroidi lentement, plus cristallin et moins perméable aux solvants [29].

c. Propriétés électriques

Le polyéthylène possède de meilleures propriétés d'isolation électrique quelle que soit sa masse moléculaire et sa cristallinité. Son faible facteur de dissipation diélectrique et sa faible permittivité relative marquent son importance en faisant de lui un matériau de choix en isolation électrique [28].

d. Propriétés thermiques

En absence de contrainte, le polyéthylène haut densité (PEHD) a le pouvoir de supporter une température de 110 à 120°C (stérilisation par exemple). Ce comportement est déterminé par la température de ramollissement ou par la température de fléchissement sous charge qui augmente avec le taux de cristallinité ou le degré de réticulation. [30]

e. Propriétés mécaniques

A la température de 23°C, les matériaux semi-cristallins sont au-dessus de leur température de transition vitreuse T_g (environ - 120°C), leur partie amorphe est dite caoutchouteuse, ce qui affecte directement leurs propriétés mécaniques [31].

4. Applications du polyéthylène

Le polyéthylène fait partie des polymères les plus utilisés, en raison du faible coût de sa fabrication ainsi que ses bonnes propriétés physiques et mécaniques [32]. Il est essentiellement utilisé dans l'emballage mais aussi dans plusieurs secteurs.

Parmi les domaines importants de l'application du PE on trouve:

- Dans l'emballage : les caisses, les plateaux, les bouteilles pour le lait et les jus de fruits, les jerrycans, les bouteilles pharmaceutiques, les bouchons et les fermetures, les doublures, les sacs poubelles, les films pour l'emballage alimentaire (surgelés, produits secs, etc.), etc.



Figure I. 6 : Les applications du PE dans l’emballage.

- Fibres et textiles : comme les cordes, les filets de pêche et de sport, les filets à usage agricole, les tissus industriels et décoratifs, etc.



Figure I. 7 : Les applications du PE dans les fibres et textiles.

- Tuyaux et raccords : tuyaux pour le gaz, l'eau et les eaux usées.
- Divers : les poubelles, les articles ménagers, les glacières, les jouets, et aussi dans les réservoirs de carburant en raison de son excellente résistance aux produits chimiques.



Figure I. 8 : Les applications du PE dans les tuyaux et autres.

Les polyéthylènes réticulés peuvent également servir de revêtements dans le bois d'œuvre résineux, les pneus de chemin de fer et les dispositifs médicaux [33].

5. Avantages et inconvénients du polyéthylène

➤ Avantages :

- Excellente résistance chimique ;
- Bonne résistance à la traction ;
- Polymère à faible coût avec une bonne aptitude au traitement ;
- Bonne résistance aux chocs à basses températures, bonne résistance aux intempéries;
- Excellentes propriétés d'isolation électrique ;
- Très faible absorption et bonne propriétés barrières à la vapeur d'eau.

➤ Inconvénients :

- Sensible à la fissuration sous contrainte ;
- Faible rigidité ;
- Haute perméabilité aux gaz, en particulier le dioxyde de carbone ;
- Hautement inflammable ;
- Mauvaise résistance aux UV et à la chaleur ;
- Soudage à haute fréquence et assemblage impossible.

6. Méthodes de traitement du polyéthylène

Le PE peut être mis en œuvre par plusieurs procédés tels que le moulage par injection, le moulage par soufflage, le rotomoulage, l'extrusion (tubes, câbles, etc.), et divers processus de création de film tels que le calandrage ou l'extrusion de film soufflé.

7. Recyclage du polyéthylène

Le code d'identification de la résine pour deux formes principales de polyéthylènes est:

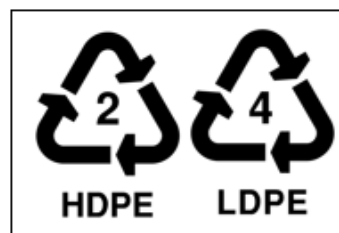


Figure I. 9 : Les codes d'identification du PE.

Le PEBD et le PEHD sont de nature non biodégradable et contribuent de manière significative aux déchets plastiques du monde. Cela n'empêche pas leur recyclage afin d'être utilisés pour d'autres objectifs comme produire des bouteilles pour des articles non alimentaires, des plastiques pour des applications extérieures, des bacs à compost, etc.

8. Production et consommation du PE

En 2016, 24,5 millions de t/an pour le PEBD et 49 millions de t/an pour le PEHD ont été produit dans le monde.

En 2019, la capacité de production de polyéthylène mondiale atteint 114,43 millions de t/an dont la production de l'Union européenne, en 2018, était d'un total de 12,379 millions de tonne selon Eurostat (tableau I.5).

Tableau I. 5 : Productions du PE par l'Union européenne en 2018 en tonne selon Eurostat.

Pays	PEBD	PEHD
Allemagne	Valeur non communiquée	1 820 988
Belgique	649 330	1 095 995 en 2016
France	522 390	185 803 en 2013
Italie	366 098	355 500
Royaume Uni	12 984	18 400
Espagne	630 296	571 700
Pays Bas	738 802	452 140
Slovaquie	184 035	Valeur non communiquée
Portugal	121 900	125 106
Hongrie	65 092 en 2017	333 382
Total	4155 183	6 068 584

Le polyéthylène est considéré la principale matière plastique consommée dans le monde avec un taux de 29.7%.

I.4.2. Le renfort

Le renfort définit comme la phase discontinue d'un matériau composite, il contribue à améliorer la résistance mécanique de ce dernier et peut se présenter sous forme de particules

ou de fibres. Telle que les fibres de carbone, de verre, ainsi que les fibres végétales (lin, coton, farine de bois, jute, chanvre, grignon d'olive, luffa... etc.) [34].

Le but des renforts dans les matériaux composites est essentiellement d'accroître leurs propriétés mécaniques (rigidité, résistance à la rupture, dureté, etc.) et d'améliorer des propriétés physiques, tels les comportements au feu et à l'abrasion, la tenue en température ou les propriétés électriques. Les caractéristiques recherchées dans les renforts sont une masse volumique faible, une compatibilité avec les matrices et une facilité de mise en œuvre.

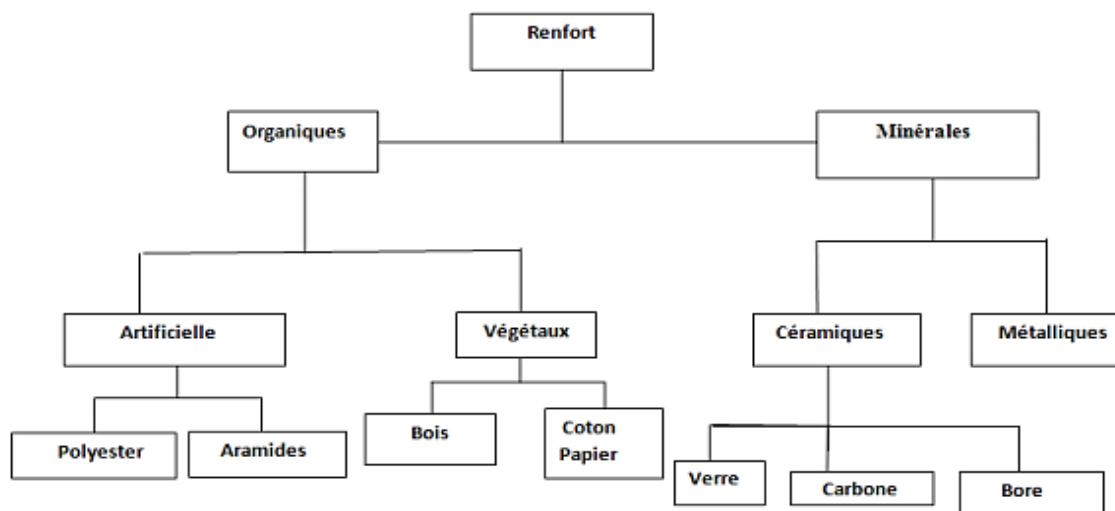


Figure I. 10 : Les différents types de renfort de base [36].

❖ Les fibres naturelles

Les fibres naturelles se présentent comme des structures biologiques principalement composées de cellulose, hémicelluloses et de lignine. Dans une expertise beaucoup plus faible elles comportent ainsi des extractibles, des protéines et certains composés inorganiques [35].

1. Classification des fibres naturelles

Ces fibres peuvent être classées suivant leur origine, il est donc possible de les répartir en trois grandes familles [36, 37] comme suit :

- **Les fibres végétales** ; qui comprennent les fibres dérivant des différentes parties de la plante ;
- **Les fibres animales** ; issues des poils, telle que la toison animale, et des sécrétions telle que la soie ;
- **Les fibres minérales** comme l'amiante.

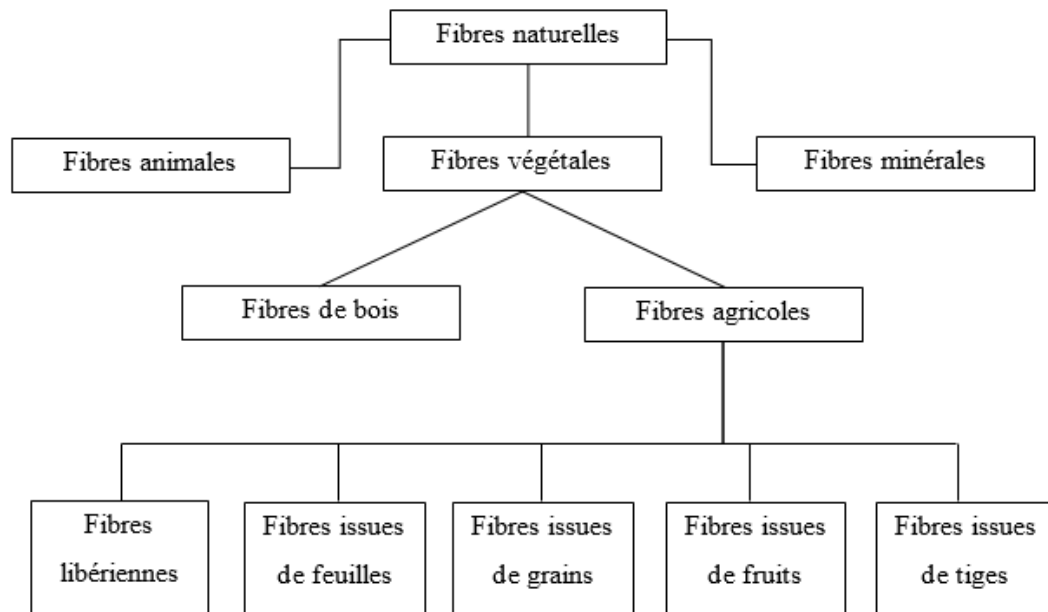


Figure I. 11 : Classification des fibres naturelles [38].

2. Composition chimique des fibres végétales

Les fibres végétales se caractérisent par leur composition chimique (tableau I.6) qui influe énormément sur leur durabilité et particulièrement dans les milieux alcalins.

Cette composition chimique est formée de trois principaux constituants sont : la cellulose, l'hémicellulose et la lignine.

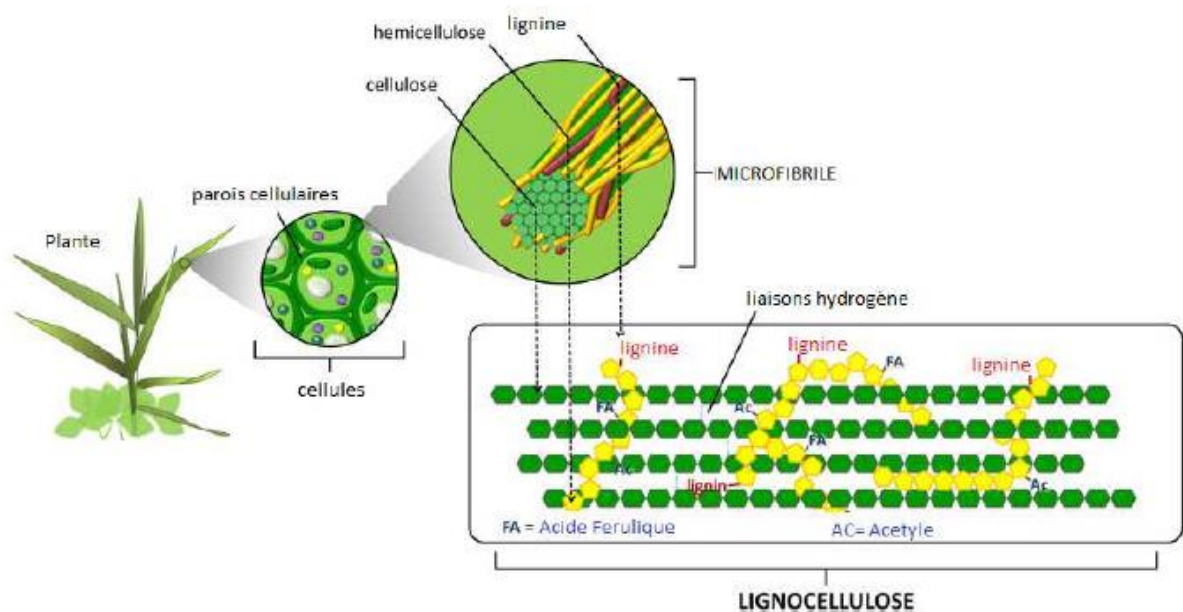


Figure I. 12 : Structure d'une fibre végétale [39].

a. La Cellulose

La Cellulose présente la composante essentielle des fibres végétales. Considérée comme un polymère naturel du premier plan. Généralement, les fibres végétales sont conçues par une chaîne de fibres en cellulose, qui est formée, à son tour, de longues chaînes dont le motif de base est le glucose (Schéma I.2).

La cellulose se situe dans la paroi des fibres, elle est l'élément qui garantit la protection et le soutien dans les organismes végétaux.

Elle présente la substance organique la plus abondante dans la nature, vu qu'on estime sa production mondiale à environ 1,3.10¹⁰ tonne par an. A l'échelle d'un arbre cela convient à la formation de 10 g de cellulose par jour. [40, 41]

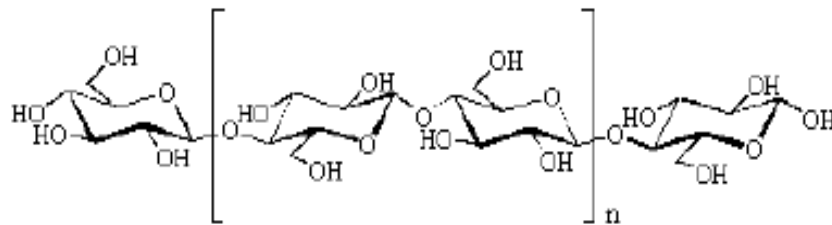


Schéma I. 2 : Structure de la cellulose [40].

b. L'hémicellulose

L'hémicellulose présente dans toutes les parois des fibres végétales. C'est le composant responsable de l'élasticité de ces fibres permettant aux parois de s'allonger pendant la croissance. Par définition Les hémicelluloses sont les polysaccharides amorphes de masse moléculaire plus faible que celle de la cellulose, solubles dans l'eau et pouvant être extraites des cellules végétales par des solutions alcalines. Elles sont composées de sucres neutres, principalement d'une chaîne d'unités glucose liées en β (1-4) et de courtes chaînes latérales de xylose, galactose et fucose. [42-43]

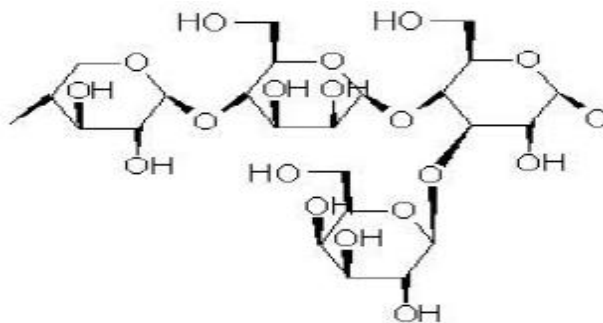


Schéma I. 3 : Structure de l'hémicellulose.

c. La lignine

La lignine se définit comme une colle qui lie les fibres végétales entre elles, tout en participant à la rigidité structurale des parois cellulaires et protège les plantes contre l'attaque des organismes pathogènes. C'est un polymère tridimensionnel dérivant de la copolymérisation de trois alcools phénylpropénoïques (Schéma 1.4). La lignine est une macromolécule très hétérogène constituée de polymères aromatiques. Elle est considérée, après les polysaccharides, comme le polymère naturel le plus abondant sur terre. [44]

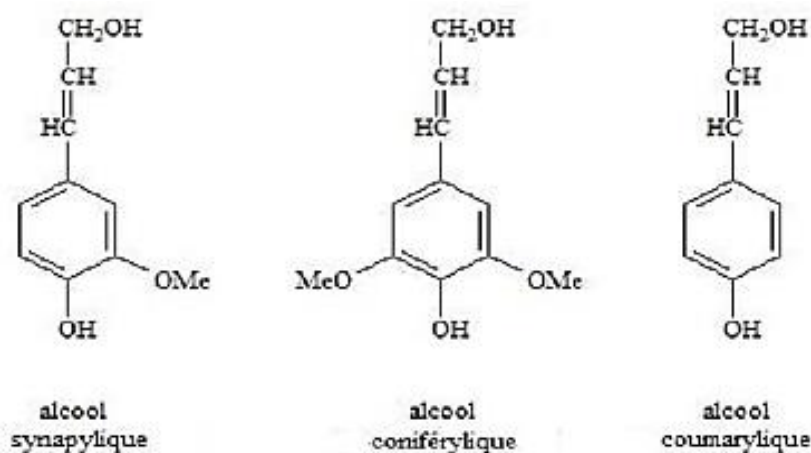


Schéma I. 4 : Structure de la lignine.

Tableau I. 6 : Composition chimique de quelques fibres végétales [45].

Fibres naturelles	Cellulose %	Hémicellulose %	Lignine %	Pectine %	Graisse %	Eau %	Angle de microfibre (°)
Chanvre	70-74	17.9-22.4	3.7-5.7	0.9	0.8	6.2-12	2-6.2
Lin	71	18.6-20.6	2.2	2.3	1.7	8-12	5-10
Jute	61-71.5	13.6-20.4	12-13	0.2	0.5	12.5-13.7	8
Coton	85-90	5.7	-	0-1	0.6	7.85-8.5	-
Sisal	66-78	10-14	10-14	10	2	10-22	10-22
Ramie	68.6-76.2	13.1-16.7	0.6-0.7	1.9	7.5-17	0.3	7.5
Kénaf	45-57	21.5	8-13	3-5	-	-	-

3. Avantages et inconvénients des fibres végétales

L'incorporation de fibres végétales dans les matrices polymères peut apporter de nombreux avantages par rapport aux fibres traditionnelles utilisées dans les composites telles que les fibres de verres [46,47]:

- Faible densité ;
- Faible coût ou coût modéré ;
- Fibres renouvelables par culture ;
- Faible consommation d'énergie pour leur production ;
- Fibres biodégradables ;
- Propriétés spécifiques élevées.

Ces points positifs n'empêchent pas l'existence de certains inconvénients qui peuvent être un frein au niveau des développements industriels ;

- Absorption d'eau ;
- Mauvaise tenue au vieillissement (biodégradabilité) ;
- Faible résistance thermique (200°C à 300°C max) ;
- Fibres anisotropes ;
- Pour des applications industrielles, demande une bonne gestion de stocks pour garantir une qualité constante [48] ;

❖ Fibre de luffa

1. Définition

Le luffa ou loofah fait partie de la famille cucurbitacée, nommé également éponge végétale, est un fruit tropical vert allongé, consommable à l'état jeune, prenant par la suite une consistance fibreuse qui sert à la fabrication d'éponges (comme les éponges de douche). [49]

2. Informations descriptives de Luffa

Il s'agit d'une plante annuelle, grimpante d'une hauteur arrivant jusqu'à 6 m et une largeur de 0,8 m. Les feuilles sont ovales, rangées, palmées et souvent plus larges que longues. Les fleurs, mâles ou femelles, sont d'une couleur jaune vif. Les fruits de cette plante sont d'une longueur de 30 à 40 cm, d'une couleur verte à l'étape tendre et jaune à la maturité, et possèdent un réseau épais et vasculaire dans la paroi, contenant 50 à 60 grains qui

mesurent 0,5 à 1 centimètre de long, de couleur noire si le fruit est mature ou blanche si il est jeune (figure I.13). [50,51]

L'éponge de Luffa est principalement composée de 60 % de cellulose, 30 % d'hémicellulose et de 10 % de lignine ; c'est pour cela qu'elle est considérée comme un matériau lignocellulosique. [53]

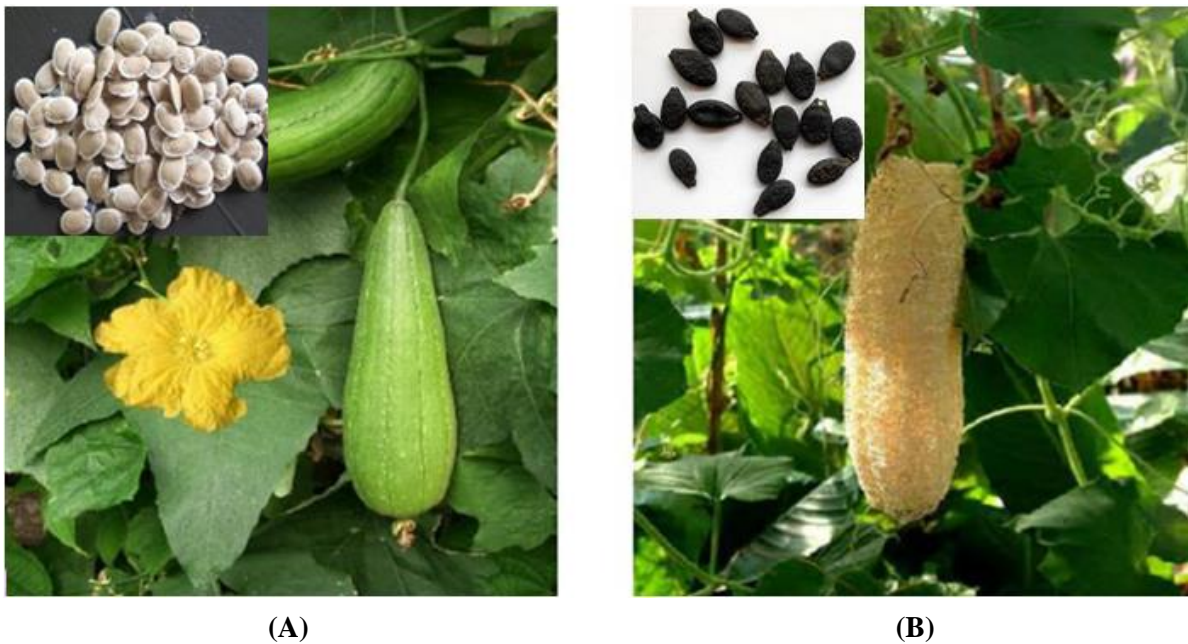



Figure I. 13 : Le Luffa, (A) fruit jeune aux graines blanches, (B) fruit mature et sec aux graines noires. [53]

3. Croissance de Luffa

Le Luffa a besoin d'une saison de croissance très longue afin de mûrir. La graine devrait être semée après que la terre soit complètement chaude au printemps, car cette plante s'accroît mieux en plein soleil. Ayant besoin d'humidité, de la chaleur surtout (la culture en serre est recommandée dans les régions aux étés courts et frais) et un sol avec un pH environ de 6 à 6,8 de préférence. L'excès d'eau peut influencer négativement sur la croissance de Luffa ainsi que la provocation d'une maladie de la racine. Donc il est préférable qu'en fin d'été, de réduire la quantité d'eau au taux de croissance plus lent afin d'encourager le durcissement des fruits au loin. [54]

Tableau I. 7 : Plantation, floraison et récolte de Luffa.

Janvier	Février	Mars	
Avril	Mai	Jun	
Juillet	Aout	Sept.	
Oct.	Nov.	Déc.	

4. Types de Luffa

Le Luffa peut être classé suivant la forme et la taille du fruit [55] :

- a. **Luffa acutangula** : originaire d'Asie (Chine – Inde), elle se trouve aussi en Afrique dans les zones de savanes. Les jeunes fruits à côtes longitudinales (figure I.14) nommés « gombos de Chine » sont consommés et commercialisés, tandis que les fruits adultes sont utilisés dans la pharmacopée asiatique pour le traitement de la jaunisse mais aussi comme vomitif et purgatif.



Figure I. 14 : Le Luffa acutangula.

- b. **Luffa cylindrica** : venant d'Inde. Fruits cylindriques (figure I.15), pulpeux consommés à l'état jeune, moins renommés que l'espèce acutangula, généralement utilisés comme éponge végétale. Très cultivé au Japon, en Inde et en Égypte.



Figure I. 15 : Le Luffa cylindrica.

- c. **Luffa operculata** : pousse au Brésil. La plante a de larges feuilles en forme de cœur ou de rein lobées, avec des fruits de la taille d'une prune, sphériques pointus embellis de piques et s'ouvrant au sommet par un opercule (d'où le nom operculata). L'intérieur est un fin réseau de fibres avec des graines aplaties brunes à noires (figure I.16). Utilisé généralement dans la pharmacopée traditionnelle.



Figure I. 16 : Le Luffa operculata.

C'étaient les trois types de Luffa les plus renommés, mais il existe aussi d'autres espèces comme : *Luffa echinata* Roxb et *Luffa cordifolia* Blume.

5. Architecture de l'éponge de Luffa

Les fruits de *Luffa cylindrica* (l'exemple le plus connu) ont un système vasculaire fibreux (éponge de Luffa). Les contrefiches de cette éponge naturelle sont caractérisées par une structure micro-cellulaire avec des canaux micro-creux continus (macropores avec un diamètre de 10 à 20 μm) qui constituent les paquets vasculaires et rapportent un système hiérarchique multimodal de pore [56].

Selon Zampieri et al, ce fruit se compose de plusieurs parties distinctes de l'intérieur vers l'extérieur [57] (figure I.17) comme suit :

- Le noyau ou bien le filet qui représente la partie centrale du fruit (core part) ;
- La paroi externe (outer surface) et la paroi interne (inner surface) de l'éponge ;
- Le lien entre la paroi interne et le noyau qui est symbolisé comme une bonne quantité de faisceaux vasculaires qui constituent le milieu (middle part).

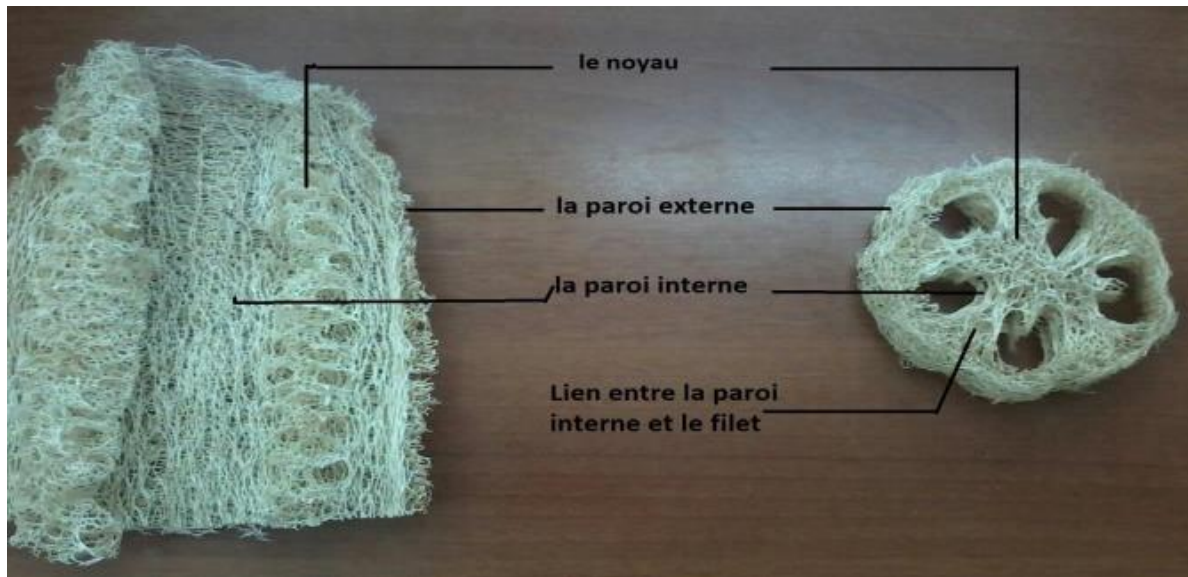


Figure I. 17 : Les différentes parties de l'éponge de Luffa [53].

6. Domaines d'utilisation de Luffa

L'emploi de Luffa comme plante industrielle a commencé au Japon entre 1890 et 1895, suite à la découverte de l'organisation de la fibre, qui s'obtient à partir du fruit mur, à la confection des filtres pour moteur à vapeur et pour ceux à moteur diesel. [58]

a. Utilisation domestique :

Les jeunes fruits verts sont employés comme légume cru préparés comme la courge ou consommés comme des concombres. [59]

Tandis que les fruits matures et secs, après l'arrachement de leur peau, de la chair et des graines, ils sont utilisés comme éponge de douche, éponge de nettoyage de vaisselles, de vitre ou de verre. Grâce à son élasticité, le Luffa peut aussi être employé dans les matériels d'emballage et les paniers. [54]

b. Utilisation pharmaceutique et médicale :

Dans les différentes pharmacopées traditionnelles brésiliennes, les feuilles fraîches sont employées afin de traiter plusieurs maladies. Etant une plante tonique, émétique et diurétique, elle est utile dans le traitement des maladies dermatologiques comme les boutons, et pour soigner l'asthme et les bronchites chroniques grâce à la propriété purgative du fruit de Luffa, mais aussi pour les maladies intérieures tel que le rhumatisme grâce à la circulation du sang que l'éponge induit sur la peau, ainsi que

pour soigner le mal de dos, l'hémorragie interne et les hémorroïdes. Les fruits de Luffa sont utiles dans la fièvre et les tumeurs, etc. [54, 60]

Des tests cliniques ont été réalisés en 1999, pour une utilisation en homéopathie (formule homéopathique en association avec d'autres constituants) dans le traitement des sinusites aiguës. [55]

c. Autres utilisations :

Boynard et al. (2003). [61] ont étudié l'effet de la fibre de la Luffa cylindrica traitée par des alcalins sur les propriétés mécaniques du composite Luffa-polyester. Ils ont observé l'amélioration de 14% de ces propriétés avec la fibre traitée. **Ghali et al. (2011).** [62] ont étudié les effets du rapport de poids de fibre, de la structure et de la modification de fibre sur les propriétés mécaniques des composites Luffa-Polyester. Ils ont observé que la modification chimique de la fibre de Luffa a augmenté le module de flexion.

L'éponge de Luffa possède une bonne propriété d'absorption ce qui permet son utilisation afin d'absorber les métaux lourds [63] mais aussi les colorants organiques [64].

CHAPITRE (II)

Partie expérimentale

N.B : en cause de la situation actuelle que traverse l'Algérie ainsi que le monde par la crise du virus COVID-19 depuis le mois de mars 2020, le travail expérimental prévu sur la thématique «des composites à base de fibre de Luffa et de Polyéthylène» n'a malheureusement pas pu être effectué. Pour cela, dans ce deuxième chapitre, nous présenterons une expérience faite auparavant par Amer N. Jarad et al. de l'université de Bassora en Irak sur les composites à base de Luffa et du PEBD.

Étude des propriétés mécaniques du composite polyéthylène basse densité (PEBD)/ luffa.

En 2014, Amer N. Jarad et al. de l'université de Bassora en Irak, ont fait une étude sur le composite PEBD/Luffa en évaluant ses propriétés mécaniques par rapport à l'effet de la teneur en matière de remplissage Luffa qui varie de 2,5 % à 25 % en poids dans le composite. Une amélioration remarquable des paramètres mécaniques a été obtenue lors de l'ajout de luffa avec un rapport de poids de 2,5 %. Les propriétés du film chargé ont été testées par plusieurs essais mécaniques. Cependant, certaines difficultés expérimentales sont apparues au-dessus de 5% de rapport de mélange, et ces complications étaient dues à la séparation en phase qui rend le traitement de l'échantillon impossible. Les résultats expérimentaux ont montré que le comportement élastique augmentait avec l'augmentation de la concentration de la charge de luffa jusqu'à 2,5 %.

II.1. Introduction

Afin d'accomplir les différentes exigences industrielles des matières plastiques, un certain nombre d'additifs avaient été ajoutés au polymère. Parmi ceux-ci figurent des lubrifiants, des antioxydants, plusieurs agents, des colorants ainsi que des charges [65,66]. Ce dernier englobe un groupe très étendu de matériaux solides (inorganiques, organiques) qui peuvent être de différentes formes, utilisés pour des charges volumiques raisonnablement importantes dans les plastiques [67] avec des avantages économiques en étant des matières très répondues dans la nature.

Près de 85 % des polymères produits dans le monde sont des thermoplastiques [68-69], tels que le polypropylène, le polystyrène, le poly (chlorure de vinyle) et le polyéthylène, leurs caractéristiques permettent l'incorporation des charges afin de créer un produit composite avec des propriétés améliorés. Le produit peut être facilement transformé en diverses formes et peut être recyclé [70].

Les propriétés physiques du PEBD, qui sont à l'origine de ses propriétés mécaniques, permettent de distinguer son utilisation dans différentes applications. Dans ce cas, l'importance de la compatibilité est nécessaire pour décider de la concentration de charge requise pour servir à l'une de ces applications. Dans la présente étude, les propriétés mécaniques du (PEBD/ Luffa)

ont été étudiées pour différents pourcentages de poids de Luffa (2,5%-25%). Certains paramètres comme la résistance à la traction (σ_M), la déformation à la traction (ϵ_M), la résistance à la rupture (σ_B), la déformation à la rupture (ϵ_B), la déformation à la limite d'élasticité (ϵ_y) et le module d'Young (Y) ont été mesurés à température ambiante. Les résultats ont été analysés sur la base de la relation (contrainte - déformation) et une analyse microscopique a été faite pour interpréter le comportement physique.

II.2. Matériels et méthodes

II.2.1. Produits utilisés

- Le PEBD sans additif (SCILEN 22004) est fourni par la société d'État pour l'industrie pétrochimique (SCPI) avec des teneurs de ($MI=0,39$ g/10min.) et (densité = $0,922$ g/cm³).
- Le Luffa est obtenu à partir du marché local (figure II.1). La taille moyenne des particules de Luffa utilisées dans ce travail est (<212) μm .



Figure II. 1 : Le fruit de Luffa.

II.2.2. Méthode

Six concentrations de particules de luffa (2,5, 5, 10, 15, 20 et 25 % en poids) sont utilisées sous forme de poudre fine mélangée au PEBD à l'aide de la machine Rheomix mixeur 600 fixés au compteur Haake Rheochard dans les conditions suivantes :

- Temps de mélange 15 min ;
- Température de mélange 160°C ;
- Vitesse de mélange 32 RPM.

Ensuite, le produit final moulé est introduit dans une presse de laboratoire de moins de 5 tonnes à 1750°C pendant 3 minutes dans un cadre carré où la pression augmente progressivement jusqu'à 15 tonnes en 6 minutes (figure II.2). Une fois la feuille d'échantillon refroidie, des échantillons en forme d'haltère sont découpés pour la mesure des propriétés mécaniques en utilisant un instrument Instron de type Zwick/Roel [BT1-FR2.5 TN.D14] (figure II.3) avec les conditions suivantes :

- Vitesse de la carte 10 mm/min,
- Vitesse de la traverse 50 mm/min.

Après avoir placé l'échantillon d'essai verticalement dans les poignées du dispositif, celles-ci sont serrées uniformément et fermement pour empêcher tout glissement. La relation entre l'allongement et la charge est obtenue instantanément à partir de l'appareil. Toutes les mesures sont effectuées conformément à la norme [ASTM D638 2008] [71].



Figure II. 2 : Presse hydraulique.



Figure II. 3 : Machine de l'essai de traction du type Zwick/Roel type [BT1-FR2.5 TN.D14]

- **Essai de traction :**

Afin de mesurer la résistance à la traction, l'un échantillon de polymère a été étiré à l'aide d'une machine Instron. Cet appareil mesure l'intensité (σ) (équation 1) de la force (F) exercée. Cette dernière est divisée par la section transversale (A) du spécimen. Le résultat est le stress que subit l'échantillon en augmentant la quantité de force jusqu'à ce qu'il se brise. La contrainte nécessaire à la rupture du spécimen est la résistance à la traction du matériau. Le type de déformation où l'échantillon se déforme en s'étirant, est appelé « contrainte de traction ». Généralement, le pourcentage d'allongement (équation 2) est défini comme la longueur de l'échantillon après qu'il ait été étiré (L), divisé par sa longueur originale (L_0), et ensuite multiplié par 100 [72,73].

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{Effort de traction \%} = \frac{L-L_0}{L_0} \times 100 \dots \dots (2)$$

Dans le but de mesurer le module de traction, la quantité de contrainte est augmentée lentement pour noter l'allongement que subit l'échantillon à chaque niveau jusqu'à ce qu'il se brise. Ces résultats sont traduits dans un graphique de la contrainte en fonction de l'allongement, ce tracé est appelé « courbe de contrainte-déformation ». La hauteur de la courbe présente la résistance à la traction, c'est l'étape où l'échantillon se brise. La pente de ce tracé donne le module de traction autrement dit « module de Young » (équation 3).

$$(\text{Module de Young}) Y = \text{contrainte/déformation} \dots (3)$$

II.3. Résultats et discussion

Les caractéristiques de base des propriétés mécaniques sont généralement déterminées par des essais entraînant diverses déformations par rapport aux dépendances, comme le diagramme contrainte-déformation [74]. L'essai de traction effectué a mené à l'obtention de certaines caractéristiques telles que la résistance à la traction (σ_M), déformation à la traction (ϵ_M), contrainte de traction à la rupture (σ_B), déformation à la rupture (ϵ_B), allongement à la limite d'élasticité (ϵ_y) et module de Young (Y) (tableau II.1).

Tableau II. 1 : Paramètres des propriétés mécaniques du composite Luffa/PEBD.

Teneur en charges (% en poids)	σ_M (MPa)	ϵ_M (%)	σ_B (MPa)	ϵ_B (%)	ϵ_y (%)
0	15.9	510.3	15.10	517.60	21.22
2.5	14.6	14.4	6.27	48.8	10.26
5	13.1	12.2	5.68	42.0	8.67
10	13.1	10.3	8.78	23.6	7.44
15	12.6	8.2	9.21	12.6	6.07
20	11.9	7.4	8.64	10.7	6.07
25	13.1	8.5	10.50	11.3	5.38

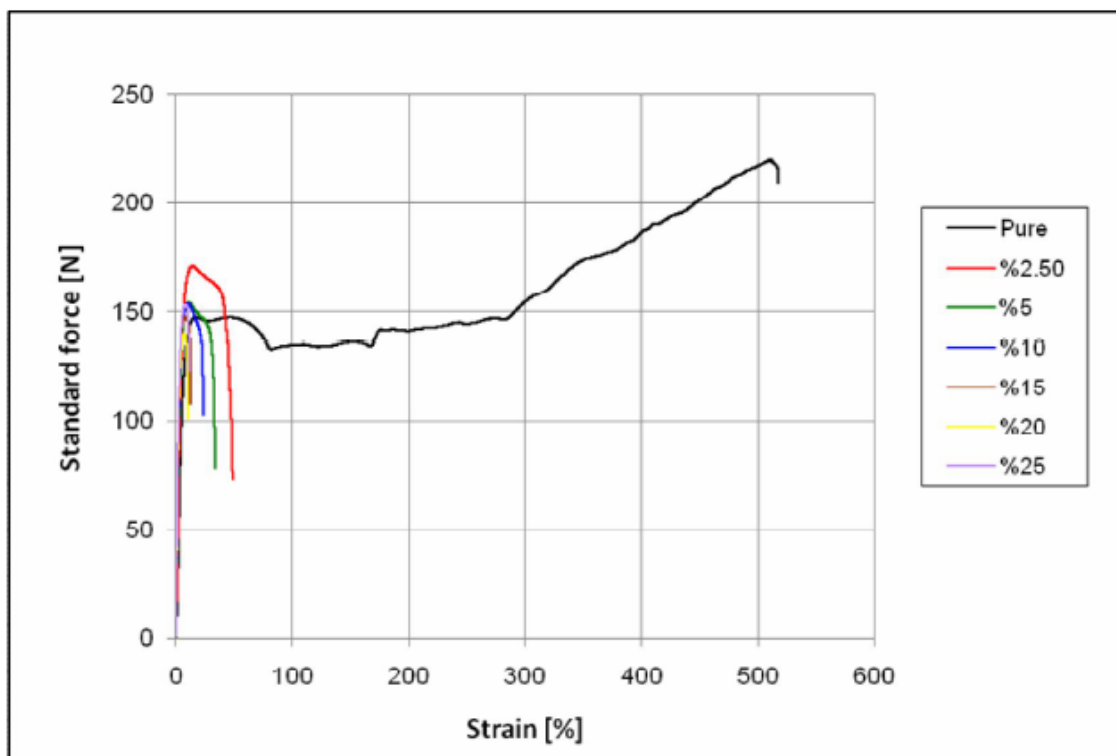


Figure II. 4 : Les courbes de contrainte - déformation du composite polymère avec luffa.

La figure (II.4) représente la courbe (contrainte - déformation) du PEBD chargé avec un pourcentage de luffa mesuré à une charge de vitesse constante à température ambiante. Cette courbe a été complémentaire dans la description au lieu de la courbe charge-allongement parce qu'elle décrit les caractéristiques du matériau et qu'elle est moins dépendante du choix arbitraire du profil de l'échantillon.

Il est bien habituel que le polyéthylène fait partie des polymères souples et résistants, où ce comportement se définit par un faible module et une faible limite d'élasticité. Selon l'ordre de rupture, la courbe contrainte-déformation est un exemple du second comportement de la rupture : l'étirage à froid [75]. Dans ce cas, trois régions peuvent être distinguées de la courbe comme suit :

- La première est la région linéaire ;
- La deuxième est la région d'élasticité ;
- La troisième est la région d'élongation jusqu'à la rupture.

Dans la région linéaire, où la déformation n'était pas très remarquable, on obéit à la loi de Hook qui caractérise la déformation immédiate et récupérable associée à la flexion et à l'étirement des liaisons interatomiques du polymère. De plus, il n'y a pas de déplacement continu des molécules par rapport aux autres. Cette région peut représenter la région limite élastique du polymère, dans laquelle l'extension uniforme due à la contrainte a augmenté à un rythme constant [76,77].

Le module de Young étant un paramètre technique important qui définit la résistance du matériau à la déformation, doit être mesuré avant de produire le polymère. Il peut être tiré à partir de la pente de la partie linéaire. Le module de Young varie entre 43,93 et 165,89 pour un rapport de luffa compris entre 2,5 et 25% respectivement (figure II.5). Cette augmentation du module d'Young peut être définie comme une élévation de la résistance du matériau à la déformation.

Tableau II. 2 : Valeurs du module de Young.

Contenu de remplissage (% en poids)	0	2.5	5	10	15	20	25
Module de Young (Y)	4.27	43.93	59.14	86.58	148.46	164.52	165.89

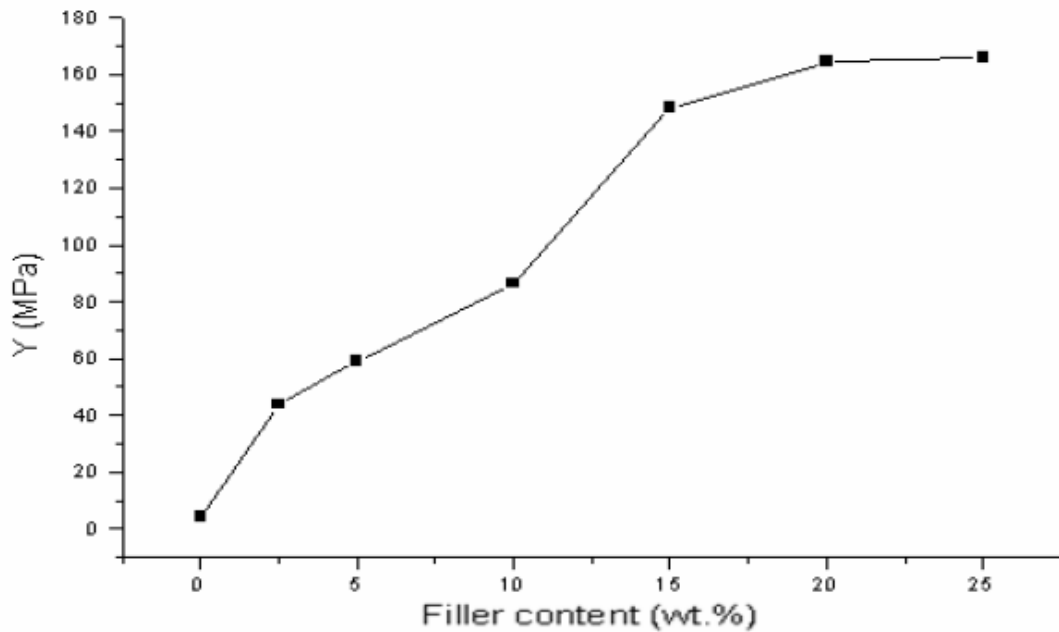


Figure II. 5 : Variation entre les modules de Young et le contenu de remplissage (% en poids).

Le volume de l'échantillon reste constant pendant la déformation élastique, de sorte qu'à mesure que la longueur du spécimen s'allonge, sa section transversale se réduit progressivement. Les propriétés mécaniques dépendent principalement du comportement moléculaire, y compris la composition chimique et la structure physique. La non-linéarité de la courbe contrainte-déformation peut être liée à la composante de la contrainte de cisaillement appliquée [77].

Dans la région entre la limite de proportionnalité et la limite d'élasticité, la déformation n'est pas récupérable de façon directe, mais elle peut être caractérisée comme le redressement d'une portion de bobine des chaînes moléculaires [78]. Le mécanisme de déroulement est relativement lent.

Toute déformation plastique supplémentaire sera accumulée dans une région où l'échantillon subit un rétrécissement, pendant que le renforcement du travail a provoqué une augmentation insuffisante de la charge afin de compenser la diminution de la section horizontale, cela a été suivi par une augmentation de l'allongement avec une contrainte quasiment constante où le spécimen ne se déforme pas. Le renforcement excessif de la contrainte dans la zone de forte déformation correspondait à l'instabilité plastique jusqu'à l'apparition de l'arrachement. Le passage vers la partie horizontale du diagramme contrainte-

déformation appelée « cou ». Chacune des contraintes à la rupture peut être directement calculée à partir de cette région.

Les résultats de la résistance à la traction à la limite d'élasticité et à la rupture du composite luffa/polyéthylène sont montrés dans les figures (II.6 et II.7) respectivement.

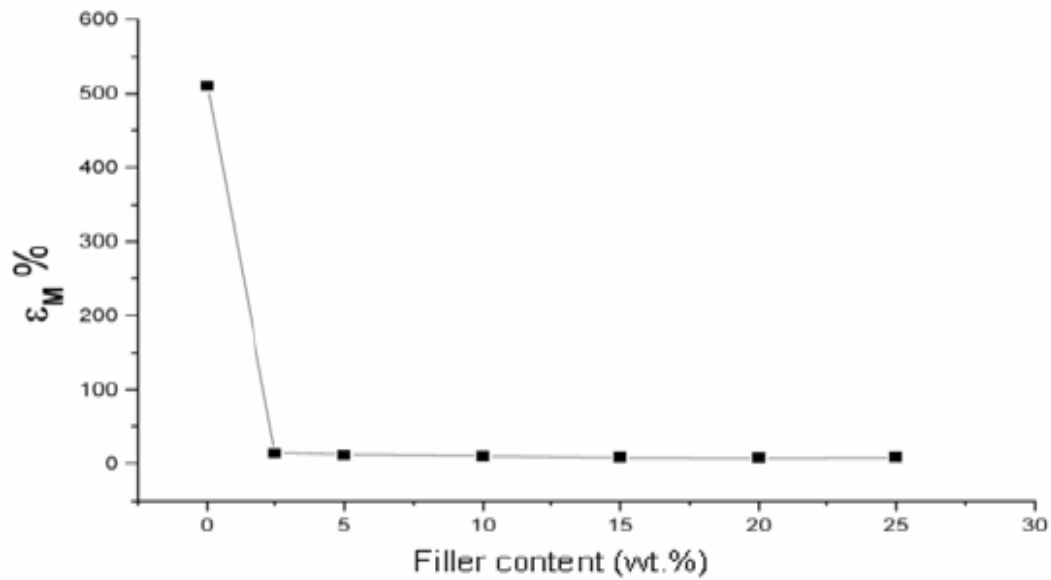


Figure II. 6 : Variation entre la contrainte de traction et la teneur en charge (% en poids).

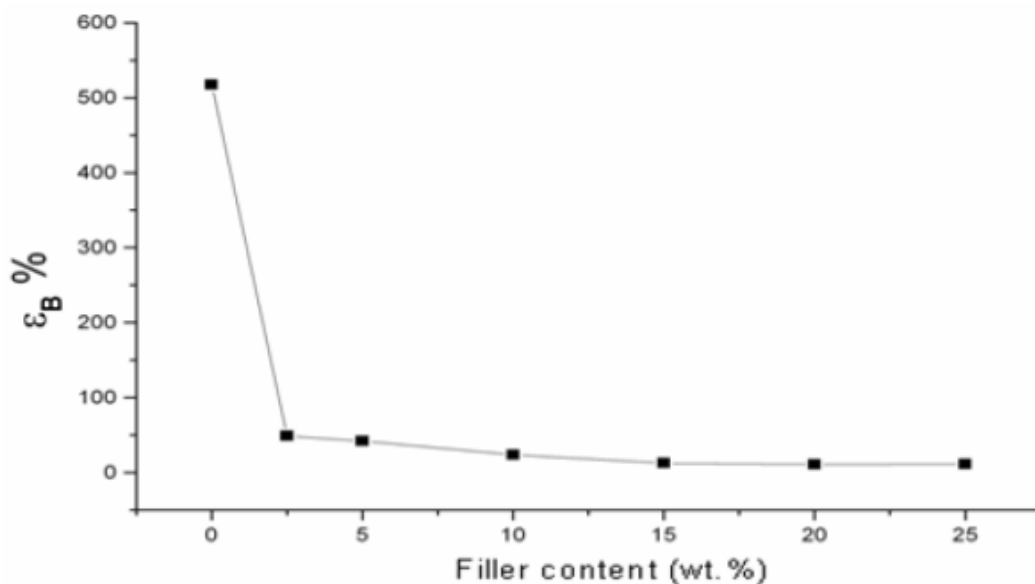


Figure II. 7 : Variation entre la contrainte de traction à la rupture et la teneur en matière de remplissage (% en poids).

La traction à la rupture augmente régulièrement jusqu'à une concentration de 5% de charge; ensuite, elle diminue progressivement, elle apparaît comme un épaulement. La traction maximale peut s'expliquer par la parfaite homogénéité de la distribution de la charge dans la matrice polymère.

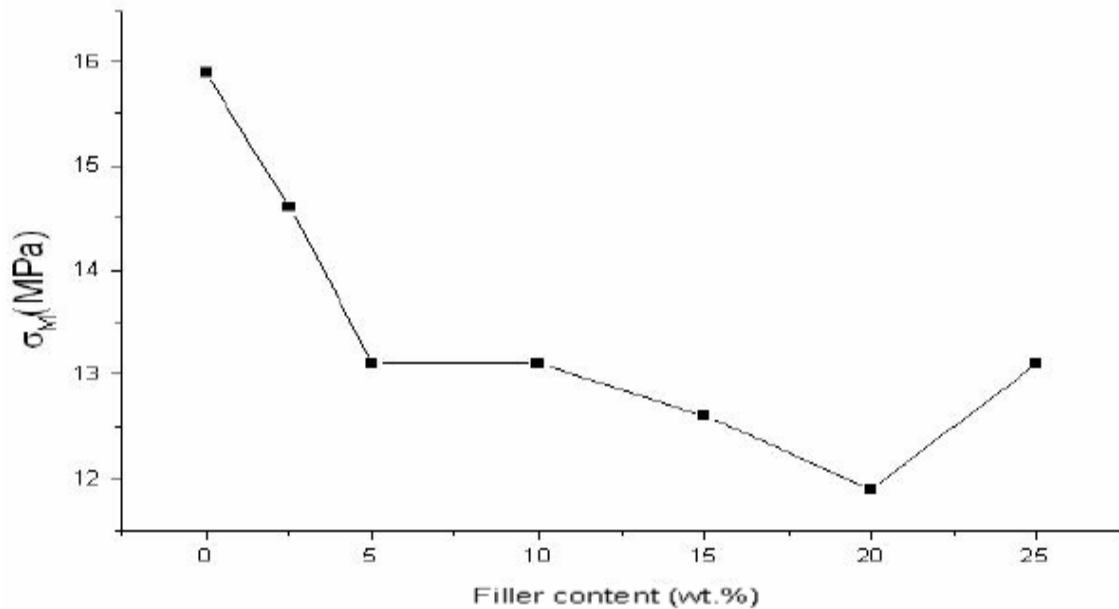


Figure II. 8 : Variation entre la résistance à la traction et la teneur en matière de remplissage (% en poids).

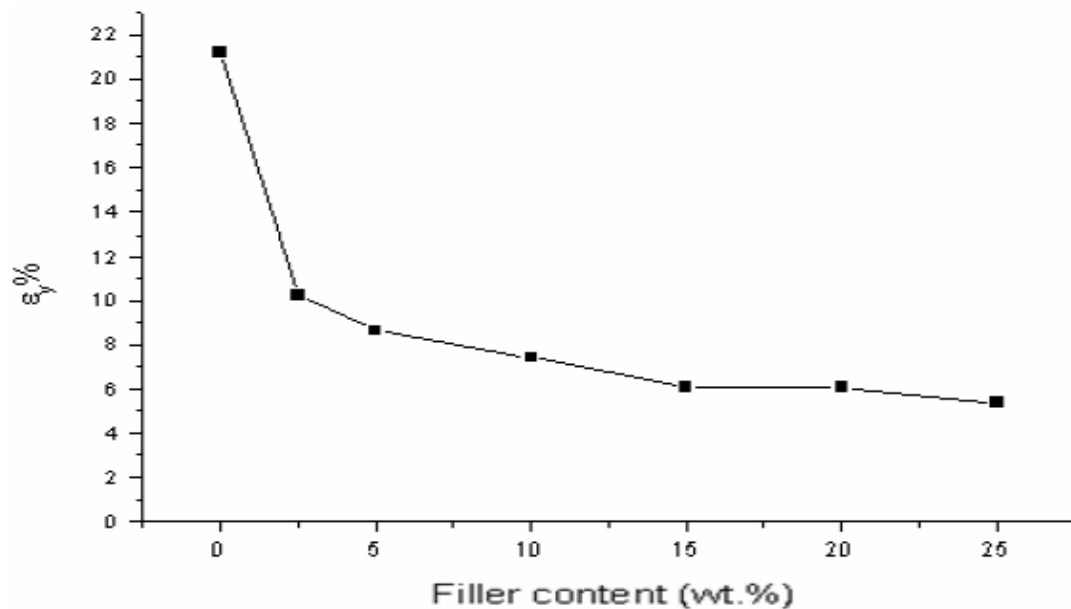


Figure II. 9 : Variation entre l'allongement à l'élasticité et la teneur en matière de remplissage (% en poids).

La figure (II.8 et II.9) montre les courbes de contrainte - déformation du composite polymère avec le luffa comme charge. Ces courbes présentent la valeur normale de contrainte - déformation du polymère pur, et la limite relative est de 15,9MPa, puis en diminuant cette valeur réduite à 14,6 MPa. Lorsqu'on ajoute 2,5% de la fibre et qu'on commence à diminuer à 13,1 MPa, 13,1 MPa, 12,6 MPa, 11,9 MPa et 13,1 MPa en réduisant les proportions, on obtient des charges en fibre de 5%, 10%, 15%, 20% et 25%.

L'interaction entre la fibre et les chaînes polymériques peut être obtenue à l'extrême à 5%, ce qui permet d'avoir une bonne homogénéité du réseau polymère ainsi que la plus haute valeur de ténacité, ce qui fait que ce matériau résiste aux chocs et aux tensions et ces caractéristiques en font une application industrielle. Alors que le processus d'homogénéisation entre le polymère et la fibre à 2,5 % donne un matériau fragile sans aucune plasticité à cause de l'absence de capacité de glissement des chaînes polymériques avec les particules de la charge ; mais aussi l'augmentation du pourcentage de charge à 10 % provoque la diminution du glissement entre le polymère et la charge, malgré cela le polymère composite présente une certaine plasticité [79-84].

II.4. Conclusion

Les propriétés mécaniques du polyéthylène basse densité n'ont pas été améliorées par l'ajout de luffa avec un grand pourcentage de poids. La phase polymère a été diluée par un matériau plus rigide qui est le luffa. Ceci a été expliqué dans les propriétés mécaniques supérieures à 5% en poids de fibre. En conséquence, le PEBD avec 2,5% de luffa est recommandé pour les applications industrielles.

Conclusion générale

Grâce à leurs différents avantages, les composites sont devenus les matériaux de l'actualité, par leur utilisation qui reste dans une augmentation exceptionnelle, notamment les composites à base de matrice thermoplastique, portant une importance environnementale par leur possibilité de recyclage, mais aussi un appui économique par leur faible coût, sans oublier leurs propriétés remarquables améliorées grâce à l'ajout des fibres végétales.

Au cours de l'expérience réalisée par Amer N. Jarad et al., une étude a été faite sur les propriétés mécaniques du composite à matrice polyéthylène chargée de 2.5%, 5% , 10%, 15%, 20% et 25% de fibre de Luffa.

Les résultats ont mené à une conclusion que les propriétés mécaniques du polyéthylène basse densité n'ont été améliorées que par l'ajout de petites quantités de fibres, d'environ 2.5% de luffa.

Références bibliographiques

- [1] : Dossier pédagogique « les matériaux composites », créé avec la collaboration de Marc Marzano, « Action Composite Pascal Celle », GNFA, ANFA, Édition 2014.
- [2]: P.K. Aggarwal, « Influence of maleated polystyrene on the mechanical properties of bio-based fibers-polystyrene composites », *Journal of the Indian Academy of Wood Science*, 8, pp. 184-189, 2011.
- [3]: A.A. Basfar, «Flammability of radiation cross-linked low density polyethylene as an insulating material for wire and cable», *Radiation Physics and Chemistry*, Vol. 63, pp. 505-508, 2002.
- [4]: T.A. Saki, «Reactive melt blending of low-density polyethylene with poly(acrylic acid)», *Arabian Journal of Chemistry*, Vol. 18, pp. 191-199, 2015.
- [5] : Saber Benferdi, « Caractérisation du comportement micromécanique d'un matériau composite par différentes approches mathématiques », mémoire de Magister, Université MENTOURI Constantine, 2010.
- [6] : J. M. BERTHELOT, « Matériaux composites: Comportement mécanique et analyse des structures », Ed. MASSON, Paris, 1992.
- [7] : Mostar Abdessamed, « Influence des ajouts de fins minérales sur les performances mécaniques des béton renforcé de fibre végétales de de palmier dattier », mémoire de Magister, option génies civil, Université de Kasdi Merbah-Ouargla, novembre 2006.
- [8] : Sandali A, Rabhi N, « Comportement au choc des stratifiées composites renforcées par des fibres naturelles », mémoire de Master, université Kasdi Marbah de Ouargla, 2013.
- [9] : Jérémie Aucher, « étude comparative du comportement composite à matrice thermoplastique ou thermodurcissable », INSA de Rouen, France, 2009.
- [10] : Gornet L. « Généralités sur les matériaux composites », cel-00470296, version 1 - 6 Avril 2010.
- [11] : Hans-Henning Kausch, Nicole Heymans, Christopher John Plummer, Pierre Decroly, « Matériaux polymères : Propriétés mécaniques et physiques », *Traité des Matériaux*, Presses Polytechniques et Université ROMANDES, 2001.

- [12] : Mohamed Ragoubi, « Contribution à l'amélioration de la compatibilité interfaciale fibres naturelles / matrice thermoplastique via un traitement sous décharge couronne », thèse de doctorat, Université Henri Poincaré Nancy I, 2010.
- [13] : Louis Berreur, Bertrand de Maillard, Stanislas Nösperger, «L'industrie française des matériaux composites», rapport final Rév 2 du 13 mai 2002.
- [14] : El Hadji Babacar LY, « Nouveaux matériaux composites thermoformables à base de fibres de cellulose », thèse de doctorat, institut national polytechnique de Grenoble, 2008.
- [15]: P. S Chu, K.W. Swogger, « Olefin polymer technologies- History and recent progress at The Dow Chemical Company », Polymer Science, Vol. 33, pp 797-819, 2008.
- [16]: L.H.U. Andersson, T. Hjertberg, «The effect of different structure parameters on the crosslinking behaviour and network performance of LDPE», Polymer, Vol. 47, pp 200-210, 2006.
- [17] : L. Piché, « Synthèse et caractérisation de nouveaux catalyseurs à base de palladium et de ruthénium pour la polymérisation de l'éthylène et sa co-polymérisation avec des monomères polaires », Thèse de Doctorat, Chimie, Université du Québec à Montréal, 2011.
- [18] : C. Dubrocq-Baritaud, « Mécanismes d'action de - polymer processing aids- fluores durant l'extrusion d'un polyéthylène basse densité linéaire: Etudes expérimentales et interprétations », Thèse de Doctorat, Sciences et Génie des Matériaux, L'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2008.
- [19] : L. Douminge, «Etude du comportement du polyéthylène haute densité sous irradiation ultraviolette ou sollicitation mécanique par spectroscopie de fluorescence», Thèse de doctorat, Sciences des Matériaux, Université de La Rochelle, 2010.
- [20] : Bouterfa Meriem, « Etude De La Détermination Du Paramètre D'interaction Entre Deux Polymères Par Voie Mécanique "Effet Du Comptabilisant Sur Ce Paramètre" », mémoire de Master, Faculté de Technologie, Université Ferhat Abbas Sétif, 01 /12 / 2011.
- [21]: A. Barlow, «The chemistry of polyethylene insulation», IEEE, Electrical Insulation Magazine, Vol. 7, N° 1, pp. 8-19, 1991.

- [22]: L. Boudou, J. Guastavino, « Influence of temperature on low-density polyethylene films through conduction measurement », *Journal of Physics D: Applied Physics*, Vol. 35, pp. 1555-1561, 2002.
- [23]: U.H. Nilsson, R.C. Dammert, A. Campus, A. Sneek, H. J. Jansson, « Morphology of polyethylene for power cable insulation: effects of antioxidant and crosslinking », *IEEE, International Conference on Conduction and Breakdown in Solid Dielectrics*, pp. 365-367, Vasteras Sweden, 1998.
- [24]: MICHEL FONTANILLE, YVES GNANOU, « Chimie et Physico-chimie Des Polymères (cours) », 2e et 3e cycles, pp. 4-8 et 478-485, *Ecoles d'ingénieurs, Nouvelle présentation 2005*. Dunod, Paris, 2002.
- [25]: « Comparaison entre les polyéthylènes hauts et basse densité », [en ligne]. Disponible sur: «[www. polyéthylène haute densité](http://www.polyéthylène haute densité) ».
- [26]: C. Chira, A. Obi, D. Yawas, D. Obada, I. Samotu, A. Adesanmi, «Studies on morphological and thermal properties of low density polyethylene/maize cob ash particulate composite», *Journal of Engineering*, Vol. 04, pp. 2278-8719, 2014.
- [27]: R .Yallaoui, F.Mellahi, « Etude de la diffusion d'un antioxydant phénolique au sein de la matrice d'un composite à base de PEHD », mémoire de Master, option génie des procédés, Université de Bejaia ,2016.
- [28]: M. Fontanille, P. Vairon, « Polymérisation ». Ed. Techniques De L'ingénieur, « *Traité Plastiques et Composites* », (a3 040).
- [29]: J-P.Trtignon, J.Verdu, A.Dobraczynski & M.Piperaud, Livre « *De Matières Plastiques* », Ensam, Paris, 1997.
- [30]: Mekideche Salih, « Valorisation Des Déchets Comme Constituants Des Bio Composites », Mémoire en Vue De L'obtention Du Diplôme De Master, Faculté De Technologie, Université De M'sila, 2018.
- [31]: M. Carrega et Coll, « *Matériaux Polymères* », 2e édition. Dunod, Paris, 2007.
- [32]: A.I. Maadeed, Z. Nógellová, I. Janigová, I. Krupa, «Improved mechanical properties of recycled linear low-density polyethylene composites filled with date palm wood powder», *Materials and Design*, Vol. 58, pp. 209-216, 2014.

- [33] : M. Marghsi «Modélisation et simulation d'un réacteur chimique tubulaire ‘‘Application à la polymérisation des oléfines’’», Thèse de Doctorat en Génie des Polymères, Université Ferhat Abbas, 2013.
- [34] : Stéphane HUGUET, « Application de classificateurs aux données d’émission acoustique: identification de la signature acoustique des mécanismes d’endommagement dans les composites à matrice polymère », Thèse de doctorat, Institut national des sciences appliquées de Lyon, 2002.
- [35] : E.J. JULES, « Couplages entre propriétés thermiques, réactivité chimique et viscosité des matériaux composites thermodurcissables en relation avec les conditions de leur élaboration fondée sur l’hystérésis diélectrique », ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D’ARTS ET METIERS, 2001.
- [36] : David SEDAN, « Etude des interactions physico-chimiques aux interfaces fibres de chanvre/ciment. Influence sur les propriétés mécaniques du composite », Thèse de doctorat, l’Université de Limoges, 2007.
- [37] : C. Baley, « Fibres naturelles de renfort pour matériaux composites », Techniques de l’ingénieur, génie des procédés, Vol. AM5, pp. 130, 2004.
- [38] : Doan Thi Thu Loan, « Investigation on jute fibres and their composites based on polypropylene and epoxy matrices », Thèse de doctorat, l’université de Dresden, 2006.
- [39]: Suganti Ramarad, « Preparation and properties of kenaf bast fiber filled (plasticized) poly (lactic acid) composites », mémoire de Master, 2008.
- [40]: P. Bajpai, « Pretreatment of Lignocellulosic Biomass for Biofuel Production » SpringerBriefs in Green Chemistry for Sustainability, 2016.
- [41]: M.M. Kabir, H. Wang, K.T. Lau et F. Cardona, « Chemical treatments on plant-based natural fibre reinforced polymer composites: An overview », Composites Part B: Engineering, Vol. 43, pp. 2883–2892, 2012.
- [42] : P.A. Sreekumar et al, « Effect of fiber surface modification on the mechanical and water absorption characteristics of sisal/polyester composites fabricated by resin transfer molding », Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Vol. 40, pp. 1777–1784, 2009.
- [43] : Monties, « Les polymères végétaux: Polymères pariétaux et alimentaires non azotés », Edition Gauthier –Villard, 345 p, Paris, 1980.

- [44] : H. B. Ly, « Nouveaux matériaux composites thermoformables à base de fibres de cellulose ». Thèse de doctorat, 218 p, Institut national Polytechnique de Grenoble, France, 2008.
- [45] : Enrique Alarcón-Gutiérrez, « Influence de facteurs abiotiques sur la régulation des paramètres microbiens impliqués dans la dégradation de la matière organique d'une litière forestière méditerranéenne », Thèse de doctorat, Faculté des Sciences et Techniques, L'université Paul Cezanne, 2007.
- [46]: A. Sellami, M. Merzoud et S. Amziane, « Improvement of mechanical properties of green concrete by treatment of the vegetals fibers ». *Construction and building materials*, Vol. 47, pp. 1117–1124, 2013.
- [47] : S. Fertikh, M. Merzoud, M. Bounadja, A. Ghania et A. Benazzouk, « Caractéristiques mécaniques des composites à base de fibres de diss dans différentes matrices », XX^e Rencontres Universitaires de Génie Civil, Chambéry, 6 au 8 juin 2012.
- [48]: M. Merzoud et M.F. Habita, «Elaboration and characterization of cementitious composites with diss fibres as masonry units », *Asian journal of civil engineering (building and housing)*, Vol. 9, pp. 367-377, 2008.
- [49] : Abitogun, A.S. ; Ashogbon, A.O., « Nutritional Assessment and Chemical Composition of Raw and Defatted *Luffa cylindrica* Seed Flour », *Ethnobotanical Leaflets*, Vol. 14, pp. 225-235, 2010.
- [50]: Dairo, F.A.S. ; Aye, P.A. ; Oluwasola, T.A., « Some functional properties of loofah gourd (*Luffa cylindrica* L., M.J.Roem) seed », *Food Agriculture and Environment (JFAE)*, Vol. 5 N°1, pp. 97-101, January 2007.
- [51]: Achigan-Dako ; E.G. & N'danikou ; S. & Vodouhê ; R.S., « *Luffa cylindrica* (L.) M.Roem. Internet] Record from PROTA4U. Brink, M. & Achigan-Dako, E.G. (Editors). PROTA (Pant Resources of Tropical Africa / Ressources végétales de l'Afrique tropicale) », Wageningen, Netherlands, 2011.
- [52]: Mazali, I.O. ; Alves, O.L., « Morphosynthesis : high fidelity inorganic replica of the fibrous network of loofa sponge (*Luffa cylindrica*) », *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Vol. 77 N°1, pp. 25-31, 2005.
- [53] : Souad BOUMAD, « Valorisation de la Luffa brute et modifiée dans la rétention des colorants organiques », Mémoire de Master en Génie des Procédés, option Technologies des Matériaux, Université S. DAHLAB Blida 1, 2015.

- [54]: Jack Arnott, « Luffa sponge gourd », The University of Georgia and Ft. Valley State University, the U.S. Department of Agriculture and counties of the state cooperating.
- [55] : « Luffa Aegyptica-Luffa, Eponge végétales. », Société des Gens de Lettres-jardin l'encyclopédie, 2003.
- [56]: Altinisik, A. ; Gür, E. ; Seki, Y., « A natural sorbent, Luffa cylindrica for the removal of a model basic dye », Journal of Hazardous Materials, Vol. 179 (1-3), pp. 658-664, 2010.
- [57] : Zampieri, A. ; Mabande, G. T. P. ; Selvam, T. ; Schwieger, W. ; Rudolph, A. ; Hermann, R. ; Sieber, H. ; Greil, P., « Biotemplating of Luffa cylindrica sponges to self-supporting hierarchical zeolite macrostructures for bio-inspired structured catalytic reactors. », Materials Science and Engineering : C Vol. 26 N°1, pp. 130-135, 2006.
- [58] : Laidani, Y. ; Hanini, S. ; Henini, G. In « Valorisation de la Luffa cylindrica pour les traitements des eaux chargées en cuivre. Etude de la possibilité de sa régénération par désorption chimique. », V^{ème} Congrès International sur les Energies Renouvelables et l'Environnement, pp. 1-8, Tunisie, Novembre 2010.
- [59] : Jiang, P.-L. ; Chien, M.-Y. ; Sheu, M.-T. ; Huang, Y.-Y. ; Chen, M.-H. ; Su, C.-H. ; Liu, D.-Z., « Dried Fruit of the Luffa Sponge as a Source of Chitin for Applications as Skin Substitutes », Hindawi Publishing Corporation BioMed Research International, pp. 1-9, April 2014.
- [60] : Partap, S. ; Kumar, A. ; Sharma, N. K. ; Jha, K. K., « Luffa Cylindrica : An important medicinal plant. », Journal of Natural Product and Plant Resource, Vol. 2 N°1, pp. 127-134, 2012.
- [61] : Boynard, C. A. ; Monteiro, S. N. ; d'Almeida, J. R. M., « Aspects of alkali treatment of sponge gourd (Luffa cylindrica) fibers on the flexural properties of polyester matrix composites. », Journal of Applied Polymer Science, Vol. 87 N°12, pp. 1927-1932, 2003.
- [62] : L.Ghali ; S. Msahli ; M. Zidi ; Sakli., F., « Effects of Fiber Weight Ratio, Structure and Fiber Modification onto Flexural Properties of Luffa-Polyester Composites. », Advances in Materials Physics and Chemistry, Vol. 1 N°3, pp. 78-85, 2011.
- [63] : Cleber, A. L. ; Aryane, A. M.; Gonçalves, C. A. J. ; Strey, L., « Adsorption of cadmium in vegetable sponge (Luffa cylindrica) », Ambiente & Agua – An Interdisciplinary Journal of Applied Science, pp. 212-223, 29 May 2014.

- [64] : Abdelwahab, O. ; Amin, N. K, « Adsorption of phenol from aqueous solutions by Luffa cylindrica fibers : Kinetics, isotherm and Thermodynamic studies. », The Egyptian Journal of Aquatic Research, Vol. 39 N°4, pp. 215-223, 2013.
- [65]: a. Kalson, C. McQueen, D.H.,and Kubat, J. , « Macromol. Symp », 108, 247, 1996.
- b. Krevelen,D.W.V, Hoftyzer, P.J, « Properties of Polymers », Elsevier Science Publishing Company, New York, 1976.
- [66] : a. Kuzel, R., Krivka I., Narkis and M. Ram, A. « Synthetic Metals », 67, pp. 255,1994.
- b. Flashner, F., « Engineering and Science », 18, pp. 649,1978.
- [67]: Xanthos, M., « Functional Fillers for Plastics », WILEY-VCH Verlag GmbH & Co KGaA ISBN, 3-527-31054-1, 2005.
- [68] : Xanthos, M. and Todd, D. B., « Plastics Processing », Kirk–Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, 4th Ed., John Wiley & Sons, 19, pp. 290–316, New York, 1996.
- [69] : Xanthos, M., « The Physical and Chemical Nature of Plastics Additives », Chapter 14 of « Mixing and Compounding of Polymers – Theory and Practice », Eds.: Manas-Zloczower, I., Tadmor, Z., Carl Hanser Verlag, pp. 471–492, Munich, New York, 1994.
- [70]: Osman, M. A. Rupp, J. E. P. and. Suter, U. M. « Polymer », 46, pp. 1653-1660, 2005.
- [71]: American Society for Testing and Materials, « Standard test method for tensile properties of plastics », ASTM standard ASTM D638-08, ASTM, Philadelphia, PA, 2008.
- [72] : C.G. Robertson, C.J. Lin, M. Rackaitis, and C.M. Roland, « Macromolecules », 41, pp. 2727- 2731, 2008.
- [73]: Hameed A.Hamadi, & al., « The effect of Helianthus annuus on mechanical properties of low density polyethylene », AL-Qadisiya journal for science, 15, pp. 1-10, 2010.
- [74]: Narkis, M. .Ram, A. and.Stein, Z., «Polymer Engineering and Science », 21, pp. 1049, 1981.
- [75] : Mark, H.F., « Encyclopedia of Polymer Science and Technology », 5, 1966.
- [76] : Nadhim A. Abdullah, & al., « The Study of High Density Polyethylene of Mechanical Properties (HDPE) Modified with Local Cheap Fillers », AL-Qadisiya journal for science, 17, pp. 1-17, 2012.

- [77]: Hameed A.Hamadi, & al., « The Effect of Egg Shell as Different Particle Sizes Filler on the Mechanical Properties of Low Density Polyethylene », *AL-Qadisiya journal for science* , 16, pp. 1-10, 2011.
- [78]: Garten, F. Hilberer, A. and Cacialli, F., « Efficient blue LDPE, from a partially conjugated Si containing PPV copolymer in a double-layer », 1997.
- [79]: Ramakrishna Malkapuram, Vivek Kumar and Yuvraj Singh Negi., « *journal of reinforced plastics and composites* », Vol. 28, 2009.
- [80]: Lassaad Ghali1, & al., «*Advances in Materials Physics and Chemistry* », 1, pp. 78-85, 2011.
- [81]: Amar Patnaik1, Alok Satapathy, Sandhyarani Biswas., « *Malaysian Polymer Journal* », 5, pp. 37-48, 2010.
- [82]: Yanling Wang, Rongrong Qi, Cheng Xiong, and Mark Huang., « *Iranian Polymer Journal* », 20, pp. 281-294, 2011.
- [83]: Marissa A. Paglicawan, & al., « *Philippine Journal of Science* », 134, pp. 113-120, 2005.
- [84]: Saad B. H. Farid, Dr. Akram R. Jabur & Khalid K. Abbass, « *Eng & Tech Journal* », 28, 2010.

Résumé

L'étude a été faite dans le but de caractériser les propriétés mécaniques d'un matériau composite à base d'une matrice thermoplastique renforcée par une fibre végétale. Une importance spécifique a été portée à l'éponge de Luffa durant ce travail, comme renfort dans la conception des matériaux composites à matrice polyéthylène basse densité. L'étude a été faite en variant le pourcentage en masse de la fibre de luffa dans le composite, qui a été testé ensuite mécaniquement par l'essai de traction, tout en comparant les résultats du matériau en terme de propriétés mécaniques pour chaque dosage; telles que le module de Young, la résistance à la traction et à la rupture, ainsi que l'allongement. Cela a mené à des résultats remarquables, qui se montrent dans l'ajout de petites quantités de la fibre de Luffa.

Mots clés : Polyéthylène, fibre de Luffa, composite, propriétés mécaniques.

Abstract

The study was carried out in order to characterize the mechanical properties of a composite material based on a thermoplastic matrix reinforced with a vegetable fiber. A specific importance was given to the Luffa sponge during this work, as a reinforcement in the design of composite materials with low density polyethylene matrix. The study was carried out by varying the mass percentage of luffa fiber in the composite, which was then mechanically tested by the tensile test, while comparing the results of the material in terms of mechanical properties for each dosage; such as Young's modulus, tensile and breaking strength, as well as elongation. This has led to remarkable results, which can be seen in the addition of small amounts of Luffa fiber.

Keywords : Polyethylene, Luffa fiber, composite, mechanical proprieties.