



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABBES  
LAGHROUR KHENCHELA

FACULTE DES SCIENCES &  
DE LA TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE  
GENIE INDUSTRIEL

جامعة عباس لغرور خنشلة

كلية العلوم والتكنولوجيا

قسم: الهندسة الصناعية

No. Réf. :

.....

Mémoire Présenté par:

Romaissa MAANSRI

Kenza LEKMINE

Pour obtenir le diplôme de MASTER (LMD)

OPTION : Génie des Procédés et Environnement

*Thème*

**Etude du comportement thermique lors de  
la dégradation du composite : Polyéthylène/  
fibres de Jute**

Devant le jury :

Dr. A. TOUATI

Présidente

U.A.L.K

Dr. A. MAKHLOUF

Rapporteur

U.A.L.K

Mr. S. BAHLOULI

Examineur

U.A.L.K

Année universitaire : 2019 – 2020

## *Remerciements*

*Les recherches qui font l'objet de ce mémoire ont été menées au laboratoire LSPN des polymères faculté de Technologie, Université de 8 mai 1945 Guelma, dirigées par monsieur le professeur SATHA.H.*

*On remercie Dieu de nous avoir donné la force, et la volonté pour bien achever ce modeste travail. En préambule, on souhaite adresser ici tous nos remerciements aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont ainsi contribué à l'élaboration de ce mémoire.*

*Dr. MAKHLOUF AZZEDINE notre promoteur, pour son encadrement, ses conseils scientifiques et sa disponibilité.*

*Je remercie très vivement le jury composé de : Mme la présidente de jury, A. TOUATI, l'examineur S. BAHLOULI et le rapporteur A. MAKHLOUF*

*Pour l'honneur qu'ils me font en acceptant de juger ce travail. On exprime notre gratitude à tous les internautes rencontrés (virtuellement) lors de nos recherches effectuées et qui ont accepté de répondre à nos questions avec gentillesse.*

*Enfin, on adresse nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis qui nous ont toujours soutenue et encouragée au cours de la réalisation de ce mémoire.*

## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail à :  
A celle qui a inséré le gout de la vie et le sens de  
l'amoure et la responsabilité...ma Mère hakima*

*A celui qui a été toujours la source de volonté et  
de courage .....Mon père houcine*

*A mes frères : ammar, lakhder ,monder,  
abdasslam, raid*

*A mes sœurs : rayane, narimane, nihal ,doaa  
A mes chères tante dalila et alhadhba et ses maris  
et surtout ma chère tante farida*

*A ma binôme kenza et sa famille*

*A la promotion génie des procédés 2019/2020*

*ROMAISSA.*

## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail à :*

*A celle qui a inséré le gout de la vie et le sens de l'amoure et la responsabilité...ma Mère*

*A celui qui a été toujours la source de volonté et de courage .....Mon père*

*A mon marie et mais enfants*

*A mes sœur donia,ghofran ,wissal*

*A mes frère .bilal,adem*

*A ma binôme romaissa et sa famille*

*A la promotion génie des procédés 2019/2020*

*Kenza.*

<b>Liste des tableaux</b>	<b>Pages</b>
<b>Tableau I.1</b> : Représentation des Propriétés du polyéthylène.	<b>6</b>
<b>Tableau I. 2</b> : Principales propriétés des différents types de PE.	<b>8</b>
<b>Tableau I.3</b> : Représentation procédés mise en œuvre	<b>12</b>
<b>Tableau I.4</b> : Principales applications du PE et son pourcentage	<b>15</b>
<b>Tableau II.1</b> : Principales différences entre matrices TP et TD	<b>28</b>
<b>Tableau II.2</b> : Composition des fibres naturelles	<b>32</b>
<b>Tableau II.3</b> : Les propriétés mécaniques moyennes en traction des différentes fibres naturelles.	<b>36</b>
<b>Tableau II.4</b> : Propriétés physiques des fibres naturelles.	<b>37</b>
<b>Tableau III.1</b> : Résultats de l'ATG.	<b>52</b>
<b>Tableau III.2</b> : Résultats de DSC.	<b>54</b>
<b>Tableau III.3</b> : Résultats de DRX.	<b>57</b>

<b>Liste des figures</b>	<b>Pages</b>
<b>Figure I.1</b> : La polymérisation du polyéthylène.	<b>2</b>
<b>Figure I.2</b> : Représentation semi-développée de la chaîne macromoléculaire du polyéthylène.	<b>3</b>
<b>Figure I.3</b> : Représentation les trois différentes structure cristallin du polyéthylène a) structure cristallographique, b) structure lamellaire des cristallites et c) superstructure sphérolitique.	<b>3</b>
<b>Figure I.4</b> : Différence de structure générale entre les polyéthylènes haute densité, basse densité et basse densité linéaire.	<b>4</b>
<b>Figure I.5</b> : Représentation du procédé à basse pression.	<b>6</b>
<b>Figure I.6</b> : Facteurs influençant la dégradation.	<b>12</b>
<b>Figure I.7</b> : cycle de recyclage du polyéthylène.	<b>13</b>
<b>Figure I.8</b> : Codes d'identification de recyclage de polyéthylène : PEHD , LDPE , PEBD.	<b>13</b>
<b>Figure II.1</b> : Eléments constituant d'un matériau.	<b>21</b>
<b>Figure II.2</b> : Classification schématique des différents types de composites.	<b>21</b>
<b>Figure II.3</b> : Composites à particules.	<b>22</b>
<b>Figure II.4</b> : Composites structuraux.	<b>22</b>
<b>Figure II.5</b> : Composites à particules.	<b>23</b>
<b>Figure II.6</b> : composite stratifié.	<b>23</b>
<b>Figure II.7</b> : Exemples d'architectures utilisées avec les CMC : (a) tissu 2D équilibré, (b) tissu 3D tri-orthogonal, (c) tissu « 4D » (renforcé selon les quatre diagonales d'un cube).	<b>24</b>
<b>Figure II.8</b> : Matériaux sandwichs à âmes pleines.	<b>24</b>
<b>Figure II.9</b> : Quelques applications des CMO "haute performance" : (a) un catamaran, (b) le support de la charge utile d'Ariane 5, (c) des skis de compétition (image de Thomas Grollier).	<b>25</b>
<b>Figure II.10</b> : Quelques applications des CMC : (a) la tuyère d'un moteur spatial, (b) le disque à aubes d'une turbine (image GE Energy), (c) un disque de frein haut de gamme (image Porsche).	<b>25</b>
<b>Figure II.11</b> : Exemples d'applications des composites à matrice	<b>26</b>

métallique.	
<b>Figure II.12 :</b> Organigramme illustrant les différentes familles de matrice.	<b>26</b>
<b>Figure II.13 :</b> Principaux matériaux de renfort.	<b>30</b>
<b>Figure II.14 :</b> Classification des fibres naturelles en fonction de leur origine.	<b>32</b>
<b>Figure II.15 :</b> Molécule de cellulose (n répétitions du motif cellobiose). [	<b>33</b>
<b>Figure II.16 :</b> Structure d'un type de xyloglucane.	<b>33</b>
<b>Figure II.17 :</b> Motifs élémentaires de la lignine.	<b>35</b>
<b>Figure II.18 :</b> Structure et modèle moléculaire de l'acide palmitique.	<b>35</b>
<b>Figure III.1 :</b> Poudre du PEHD.	<b>44</b>
<b>Figure III.2 :</b> Plante et fibres de Jute.	<b>45</b>
<b>Figure III.3:</b> méthode d'élaboration des plaques bio composites entre les deux cylindres.	<b>49</b>
<b>Figure III.4 :</b> Le moule entre les deux résistances.	<b>49</b>
<b>Figure III.5 :</b> plaque obtenue après le pressage.	<b>50</b>
<b>Figure III.6 :</b> Thermogramme de la fibre de palmier.	<b>50</b>
<b>Figure III.7 :</b> Thermogramme ATG du PE pur.	<b>51</b>
<b>Figure III.8 :</b> Thermogramme ATG du composite (PE/10% fibres de Jute).	<b>51</b>
<b>Figure III.9:</b> Thermogramme ATG du composite (PE/20% fibres de Jute).	<b>52</b>
<b>Figure III.10 :</b> Thermogramme DSC du PE vierge.	<b>53</b>
<b>Figure III.11 :</b> Thermogramme DSC du composite (PE/10% fibres de Jute).	<b>53</b>
<b>Figure III.12 :</b> Thermogramme DSC du composite (PE/20% fibres de Jute).	<b>45</b>
<b>Figure III.13 :</b> Diffractogramme de la fibre de Jute.	<b>55</b>
<b>Figure III.14 :</b> Diffractogramme du PE pur.	<b>55</b>
<b>Figure III.15:</b> Diffractogramme du composite (PE/10% fibres de Jute).	<b>56</b>
<b>Figure III.16 :</b> Diffractogramme du composite (PE/20% fibres de Jute).	<b>56</b>

<b>SOMMAIRE</b>	<b>Pages</b>
Liste des tableaux.....	
Liste des figures.....	
Introduction générale.....	<b>1</b>
<b>ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE</b>	
<b>Chapitre I : Généralité sur polyéthylène</b>	
I.1. Introduction.....	<b>2</b>
I.1.2.Polyéthylène (PE) .....	<b>2</b>
I.1.2.1. Définition.....	<b>2</b>
I.1.2.2. Formule.....	<b>2</b>
I.1.2.3. Structure du polyéthylène.....	<b>2</b>
I.1.2.4. Structure cristallin du polyéthylène .....	<b>3</b>
I.1.2.5. Les différents types de polyéthylène.....	<b>3</b>
I.2. Procèdes de fabrication des polyéthylènes .....	<b>5</b>
I.3. Quelque propriétés du polyéthylène .....	<b>6</b>
I.4.Caractéristiques de polyéthylène.....	<b>8</b>
I.5. Influence de l'environnement sur le polyéthylène .....	<b>9</b>
I.5.1. Dégradation du polyéthylène.....	<b>10</b>
I.5.1.1. Définition .....	<b>10</b>
I.5.1.2 Types de dégradation .....	<b>10</b>
I.5.1.2.1. Dégradation physique .....	<b>10</b>
I.5.1.2.2.Dégradation chimique .....	<b>10</b>
I.5.3. Facteurs influençant la dégradation .....	<b>11</b>
I.6. Procédé Mise en œuvre.....	<b>12</b>
I.7. Recyclage de polyéthylène .....	<b>12</b>
I.8.Formes commerciales du polyéthylène.....	<b>14</b>
I.9. Usage et domaine d'application .....	<b>14</b>
I.10. Les Avantages et Les inconvénients du polyéthylène .....	<b>15</b>
I.10.1. les avantage du polyéthylène.....	<b>15</b>
I.10.1. les inconvénients du polyéthylène.....	<b>16</b>
Référence.....	<b>18</b>
<b>Chapitre II : Les Matériaux Composites</b>	
II.1. Introduction.....	<b>20</b>
II.2. Les matériaux composites.....	<b>20</b>
II.2.1. Définition.....	<b>20</b>
II.2.2. Constituants des matériaux composites.....	<b>20</b>
II.2.3. Classification des composites.....	<b>21</b>
II.2.3.1. Selon la géométrie .....	<b>21</b>
II.2.3.1.1. Composites à fibres.....	<b>21</b>

II.2.3.1.2. Composites structuraux.....	<b>22</b>
II.2.3.1.2. Composites à particules.....	<b>22</b>
II.2.3.1.3. Les stratifiés.....	<b>23</b>
II.2.3.1.4. Les Composites tissés.....	<b>23</b>
II.2.3.1.5. Les sandwiches.....	<b>24</b>
II.2.3.2. Selon la nature des constituants.....	<b>24</b>
II.2.3.2.1 Selon la nature de la matrice.....	<b>25</b>
II.2.3.2.1.1. Les composites à matrices organiques (CMO).....	<b>25</b>
II.2.3.2.1.2. Les composites à matrices céramiques (CMC).....	<b>25</b>
II.2.3.2.1.3. Les composites à matrices métalliques (CMM).....	<b>25</b>
II.2.4. Composant des matériaux composites.....	<b>26</b>
II.2.4.1. La matrice.....	<b>26</b>
II.2.4.1.1. Les différentes familles de matrices.....	<b>26</b>
II.2.4.1.1.1. Matrices therm durcissables.....	<b>27</b>
II.2.4.1.1.2. Matrices thermoplastiques.....	<b>27</b>
II.2.4.1.1.3. Matrices thermostables.....	<b>28</b>
II.2.4.1.1.4. Matrices Céramiques.....	<b>28</b>
II.2.4.1.1.5. Matrices Métalliques.....	<b>29</b>
II.2.4.2. Renfort.....	<b>29</b>
II.2.4.2.1. Les familles de renforts.....	<b>30</b>
II.2.4.2.1.1. Renfort En Fibres Discontinues.....	<b>30</b>
II.2.4.2.1.2. Renfort Continu.....	<b>30</b>
II.2.4.2.2. Présentation des fibres naturelles.....	<b>30</b>
II.2.4.2.2.2. Classification les fibres naturelles.....	<b>31</b>
II.2.4.2.2.2.1. Selon leur origine.....	<b>31</b>
II.2.4.2.2.3. Composition d'une fibre.....	<b>32</b>
II.2.4.2.2.4. Propriétés usuelles des fibres.....	<b>35</b>
II.2.4.2.2.5. Modification des fibres naturelles.....	<b>37</b>
II.2.4.2.2.6. Le traitement thermique.....	<b>37</b>
II.2.4.2.2.7. Biodégradation et photo-dégradation des fibres naturelles.....	<b>38</b>
II.2.4.2.2.8. Intérêt de l'utilisation des fibres naturelles.....	<b>38</b>
II.2.4.2.2.9. Application des fibre naturelle.....	<b>39</b>
II.2.4.2.2.10. Les avantages et les inconvénients.....	<b>39</b>
II.2.4.3. Charges.....	<b>40</b>
II.2.3.3.1. Charges renforçantes.....	<b>40</b>
II.2.3.3.2. Charges non renforçantes.....	<b>40</b>

II.2.4.4. Additifs.....	<b>40</b>
II.2.4.5. L'interface.....	<b>40</b>
II.2.5.Procédés de fabrication des composites.....	<b>40</b>
II.2.6. Intérêt des composites .....	<b>41</b>
II.2.7.Avantages et inconvénients des composites.....	<b>41</b>
Référence.....	<b>42</b>
<b>ETUDE EXPERIMENTALE</b>	
<b><i>Chapitre III : Résultats et discussion</i></b>	
III.1. Matériaux utilisés.....	<b>44</b>
III.1.1. Résine .....	<b>44</b>
III.1.2. Renfort .....	<b>44</b>
III.2. Méthode d'élaboration des biocomposites.....	<b>48</b>
III.2.1. Préparation d'échantillon.....	<b>48</b>
III.3. Résultats et discussion.....	<b>50</b>
III.3.1. Analyse thermogravimétrique (ATG) .....	<b>50</b>
III.3.2. Calorimétrie différentielle à balayage (DSC) .....	<b>53</b>
III.3.3. Diffraction des Rayons –X (DRX) aux grands angles.....	<b>54</b>
Conclusion général .....	<b>58</b>

***Introduction  
Générale***

# INTRODUCTION

---

A l'heure actuelle, nous vivons dans un environnement de matière plastique puisque nous les trouvons sous forme de biens de consommation, dans tous les domaines de notre vie quotidienne.

Dans les polymères dits de commodité, nous pouvons citer les polyoléfinés, essentiellement le polyéthylène, facilement transformables possédant de bonnes propriétés physiques, chimiques et mécaniques et un faible coût de production. En raison de sa consommation mondiale moyenne, particulièrement dans l'emballage, la plupart des plastiques issus des polyoléfinés se dégradent lentement à température ambiante qui s'accompagne d'une très faible émission de produits de dégradation, caractéristique des mécanismes se déroulant au sein du matériau.

Les composites renforcés de fibres sont utilisés avec succès dans un nombre croissant de domaines et supplantent de plus en plus, grâce à leurs propriétés spécifiques,

.L'utilisation de fibres naturelles, et en particulier de fibres végétales comme renfort de matériaux composites, présente deux principaux avantages. Tout d'abord, ces fibres sont largement disponibles à faible coût et leur utilisation en construction constitue de nouveaux débouchés pour les matières agricoles. D'autre part, la valorisation des fibres végétales permet la réduction des impacts environnementaux par rapport aux composites conventionnels.

Plusieurs fibres naturelles ont été proposées comme substituant aux fibres classiques parmi lesquelles le chanvre, le lin, le jute (en Europe) ou encore le palmier dattier, l'alfa et le palmier nain (en Afrique). Nous nous intéresserons dans ce mémoire aux fibres de jutes.

Le présent mémoire est structuré comme suit :

- le premier chapitre est un rappel de généralités et de notions fondamentales sur les polyéthylènes, leur classification, leur propriétés, leur dégradation;
- le deuxième chapitre, est une étude générale sur les matériaux composites, leur classification leur intérêt et de même pour les fibres naturelles, et leurs propriétés ;
- le dernier chapitre est consacré aux résultats et discussion des travaux effectués ;
- Pour compléter le présent travail. Notre mémoire se termine par une conclusion générale.

# **Chapitre I : Généralités sur le Polyéthylène**

# CHAPITRE I : Généralités sur le Polyéthylène

## I. Généralité sur polyéthylène

### I.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons quelques brefs rappels sur le polyéthylène, son dégradation, propriétés, types, ainsi que ses applications. Le polyéthylène est un polymère thermoplastique d'oléfine le plus anciennement préparé industriellement, le plus utilisé, le moins cher, et le plus important polymère de synthèse. et le plus répandu dans le monde. Il était admis avant 1933 que l'éthylène n'était pas polymérisable cependant, avant cette date les chimistes d'I.G.FARBEN avaient pu obtenir des oligomères (huile, cire) et bien plus tôt en 189 BAMBERGER et TSCHIRNER du polyéthylène linéaire par chauffage du diazométhane [1]. Sa production mondiale était d'une quarantaine de millions de tonnes en 2010 [2], et cette valeur tendant à augmenter selon la croissance économique.

### I.1.2 .Polyéthylène (PE)

#### I.1.2.1. Définition

Le polyéthylène, est un polymère (macromolécules) qui fait partie de la famille des polyoléfines [2], qui est obtenu par polymérisation de l'éthylène ( $C_2H_4$ ) menant à des macromolécules composées par la répétition du motif  $-(CH_2)-$ [3].

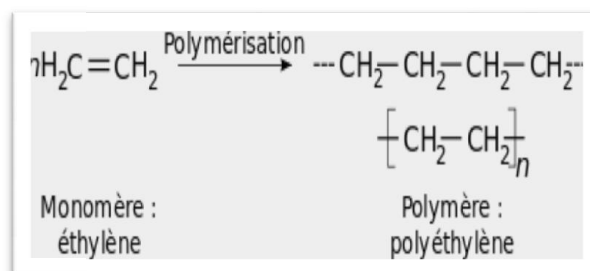


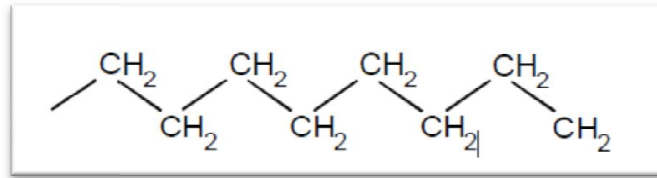
Figure I.1 : La polymérisation du polyéthylène. [3]

#### I.1.2.2. Formule

- sigle : « PE ».
- formule :  $(CH_2-CH_2)_n$ .
- nomenclature IUPAC : poly (éthylène).

#### I.1.2.3. Structure du polyéthylène

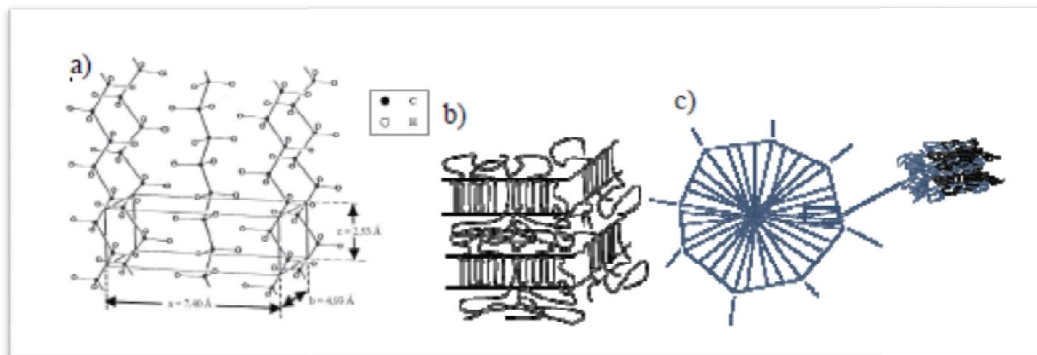
Le polyéthylène (PE), ayant la plus simple structure chimique de tous les polymères (une répétition d'unités  $CH_2$ ) sous l'influence des catalyseurs de polymérisation.



**Figure I.2 :** Représentation semi-développée de la chaîne macromoléculaire du polyéthylène. [3]

## I.1.2.4. Structure cristallin du polyéthylène

Il s'agit d'une structure très simple, il est composé uniquement de molécules H et C mais peut être construit d'une myriade de manières différentes qui fournissent les propriétés physiques. Ces chaînes s'assemblent de telle manière que le PE est un matériau semi-cristallin de la matière, avec une phase cristalline et une phase amorphe. Lorsque les molécules de PE se cristallisent, elles forment des lamelles. Les lamelles sont interconnectées en reliant les molécules qui forment des ponts inter lamellaires constituant les régions amorphes. Les lamelles, à leur tour, sont regroupées en sphérolites. La phase cristalline a généralement une densité plus élevée et peut atteindre jusqu'à 80% que la phase amorphe [4].



**Figure I.3 :** Représentation des trois différentes structures cristallines du polyéthylène a) structure cristallographique, b) structure lamellaire des cristallites et c) superstructure sphérolitique. [4]

## I.1.2.5. Les différents types de polyéthylène

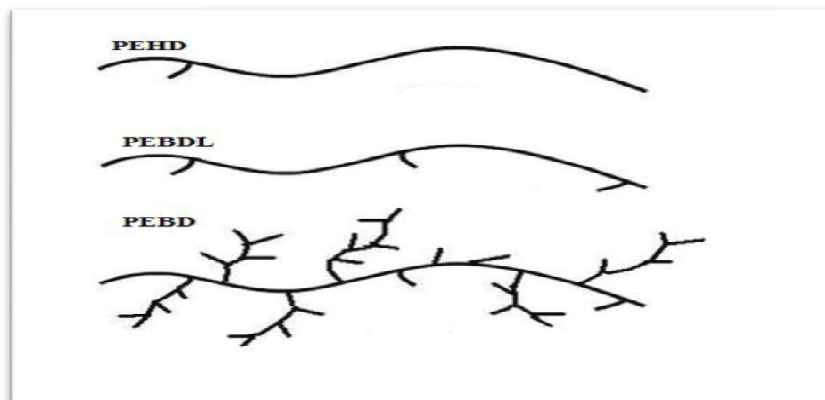
Quand l'éthylène est polymérisé, il en résulte des chaînes de polymère relativement simple. On parle alors de ramification à partir de la chaîne principale. On obtient différents types de polyéthylènes en fonction du degré de ramification et sa densité. Ces deux facteurs ont une incidence importante sur les propriétés mécaniques. Les trois principaux types utilisés sont :

## CHAPITRE I : Généralités sur le Polyéthylène

-1- le polyéthylène basse-densité (PEbd) en anglais LDPE (low density polyethylene) : est un homopolymère très ramifié. Il a été accidentellement découvert chez Imperial Chemical Industries (ICI) par Fawcett et Gibson comme une substance poudreuse solide cireuse trouvée lors l'étude des réactions de l'éthylène à haute pression et à haute température, il est caractérisé par une structure moléculaire moins compacte et un taux de cristallinité moindre [5]. Le LDPE est utilisé à grande échelle dans la fabrication de plusieurs conteneur, et l'usage la plus répandu est le sac en plastique. Sa cristallinité est inférieure à 40 %. [6]

-2- le polyéthylène à haute densité PEHD (en anglais HDPE , high density polyethylene ) : est un homopolymère linéaire qui possède pas des ramification [7]. Le polyéthylène haute densité a été synthétisé en 1953 par le chimiste allemand Karl Ziegler et son équipe. Les résines de polyéthylène ayant une densité supérieure à  $0,940 \text{ g/cm}^3$ , ce qui le rend plus rigide et moins perméable que le BDPE. Le HDPE est le type de PE le plus utilisé en volume aujourd'hui [5]. Sa cristallinité varie entre 60 et 80 %. [6]

-3- Le polyéthylène à basse densité linéaire PE-BDL, (en anglais LLDPE, linear lowdensity polyethylene) : est obtenu par un procédé à basse pression avec des catalyseurs dits de type Ziegler-Natta. il est combiné la dureté du polyéthylène à basse densité avec la rigidité du polyéthylène à haute densité .à ramifications contrôlées en longueur (3 à 7 atomes de carbone) et en répartition,[5] sa masse volumique comprise entre  $0,91$  et  $0,94 \text{ g/cm}^3$  avec une structure régulière. [6]



**Figure I.4 :** Différence de structure générale entre les polyéthylènes haute densité, basse densité et basse densité linéaire. [7]

# CHAPITRE I : Généralités sur le Polyéthylène

---

## Remarque

- Le polyéthylène linéaire est beaucoup plus résistant que le polyéthylène ramifié, mais le LDPE est moins cher et plus facile à fabriquer.[8]. Et le LDPE est plus ramifié que le HDPE. Aussi le LDPE et le HDPE sont des homopolymères.
- Certains autres polyéthylène peuvent être trouvés et sont couramment utilisés:
- PE-UHPM, polyéthylène à masse molaire élevée (en anglais UHMWPE, ultrahigh-molecular-weight polyethylene),
- PE-R, polyéthylène réticulé (en anglais PEX, cross-linked polyethylene)
- PE-RHD, polyéthylène réticulé à haute densité (en anglais HDXLPE, high density cross-linked polyethylene),
- PE-MD, polyéthylène à moyenne densité (en anglais MDPE, medium density polyethylene)
- PE-TBD, polyéthylène à très basse densité (en anglais VLDPE, very low density polyethylene) . [9]

## I.2. Procèdes de fabrication des polyéthylènes

Il existe différents modes de polymérisation : le procédé "haute pression" et les procédés "basses pressions". Les conditions de synthèse du polyéthylène influent énormément sur la structure du produit final, donc il ya deux technologies de polymérisation sont :

**a) La polymérisation par voie radicalaire :** Le polyéthylène basse densité (PE-BD) est produit par polymérisation radicalaire de l'éthylène, sous des pressions de 100 à 350 MPa et des températures de 150 à 300 °C (dans ces conditions, la masse volumique de l'éthylène est de 400 à 600 kg /m<sup>3</sup> et sa concentration de 13 à 21 mol /L). [10]

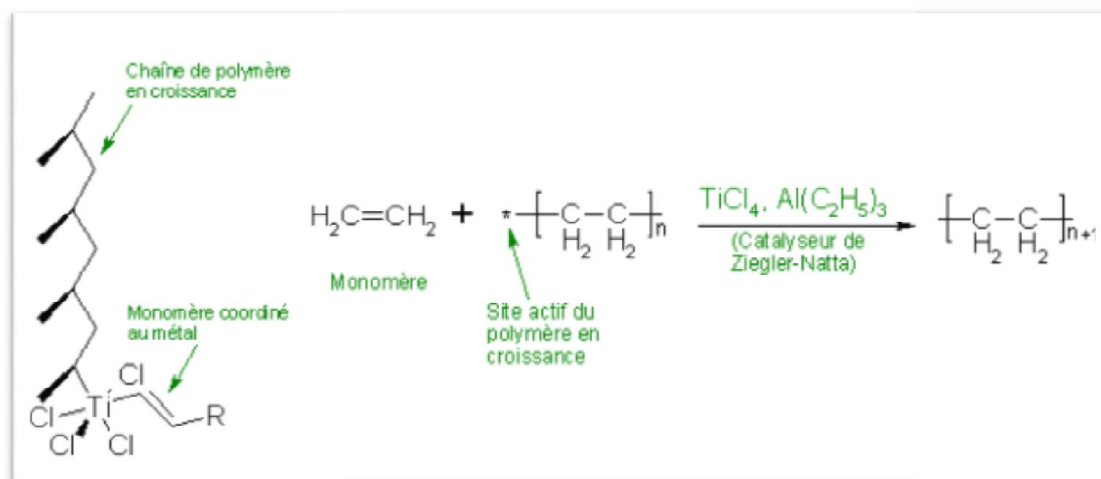
Les procédés haute pression sont caractérisés par un milieu réactionnel constitué d'une solution de polymère et de monomère. La teneur en polymère atteint 16 à 30 % en masse, elle est représentative du taux de conversion par passe et dépend du type de réacteur utilisé et de la qualité désirée. Le polymère obtenu, séparé par détente successive, est finalement repris à l'état fondu (entre 200 et 300 °C) par une extrudeuse, puis transformé en granulés. [10,11]

**b) La polymérisation par voie ionique,** opérant a basse pression qui conduit un polyéthylène de haute densité (PEhd) ou à un polyéthylène de basse densité linéaire (PEbdl) [12]. Le milieu de polymérisation est tout de même soumis à une pression

# CHAPITRE I : Généralités sur le Polyéthylène

avoisinant les 50 bars ! C'est uniquement pour le différentier du précédent procédé que celui-ci a été baptisé " basse pression ". [12]

C'est grâce à la présence d'un catalyseur organométallique Ziegler-Natta que va se faire la polymérisation. Le catalyseur permet d'associer autour d'un centre métallique, monomère et site actif de la molécule en croissance.



**Figure I.5 :** Représentation du procédé à basse pression. [11]

## Remarque

Le procédé dit "haute pression" est historiquement le plus ancien. Il a été découvert accidentellement par Eric Fawett et Reginald Gibson en 1933, qui produit un polyéthylène ramifié qui ne cristallise pas aussi bien que le polyéthylène linéaire, il est donc de densité plus faible, néanmoins les procédés dits "basses pressions" sont apparus dans les années 50 avec une plus grande cristallinité et, par la suite, une plus forte densité. [12,13]

## I.3. Quelques propriétés du polyéthylène

**Tableau I.1 :** Représentation des Propriétés du polyéthylène.

Propriétés	Présentation
Physique-chimique	➤ Il présente une bonne résistance chimique, il est olfactivement, gustativement et chimiquement neutre pour les denrées alimentaires. Il est transparent, peut être facilement transformé et se prête très bien au soudage. Sa durée de vie est très longue à cause

## CHAPITRE I : Généralités sur le Polyéthylène

	<p>de sa grande stabilité mais il se recycle bien [14]</p> <p>Les polyéthylènes résistent :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>□ aux acides faibles et acides fortes non oxydants.</li> <li>□ aux bases faibles et fortes.</li> <li>➤ □ aux solvants organiques en dessous de 80 °C (mais ils leur sont perméables).[15]</li> <li>➤ Le PE est insoluble à température ambiante. Il est soluble à partir de 60-80 °C dans les solvants suivants :             <ul style="list-style-type: none"> <li>1) Hydrocarbures halogénés</li> <li>2) Hydrocarbures aromatiques</li> </ul> </li> <li>➤ la densité du polymère augmente avec le poids moléculaire, on utilise fréquemment cette relation pour classer les polyéthylènes .</li> </ul>
Thermique	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Sa température de transition est basse et avoisine les <math>-110\text{ °C}</math> ; son point de fusion peut selon les grades atteindre <math>140\text{ °C}</math>[15]</li> <li>➤ Sa propriété thermique reliée à la conductivité thermique et au coefficient de dilatation linéique qui est fonction de type des liaisons qui assurent la cohésion des atomes ou des molécules du matériau. Elles sont inversement à l'intensité des liaisons et la cohésion du polymère qui est due à la faible intensité des liaisons. Si le cas d'un polymère amorphe, ramifié ou réticulé, les macromolécules ont peu de points de contact et la cohésion totale est diminuée [17]</li> <li>➤ Le PE a un coefficient de dilatation linéaire d'environ <math>130\text{ à }200\ \mu\text{m/m C}^\circ</math>.</li> <li>➤ . Indépendamment de la dilatation linéaire l'augmentation de la température accélère le vieillissement du PE [15]</li> <li>➤ il est sensible aux ultraviolets (UV), à il a une mauvaise tenue à la chaleur et un retrait important après la mise en œuvre [18]</li> </ul>
Electrique	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Les différents polyéthylènes basse densité (densité de 0,860 à 0,935) sont caractérisés par un module d'Young allant de 10 MPa à 500 MPa, par de bonnes propriétés diélectriques, par une faible perméabilité à la vapeur d'eau et une bonne résistance à la fissuration sous contrainte [18]</li> </ul>

## CHAPITRE I : Généralités sur le Polyéthylène

Mécanique	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Le polyéthylène a une structure plus linéaire et une plus grande cristallinité et le taux de cristallinité est élevé dans le cas du PEHD homopolymère [19]</li><li>➤ Le taux cristallinité est de l'ordre de 60 % pour un PEHD, alors qu'il n'est que de 40 % pour un PEBD.</li><li>➤ La diminution du taux de cristallinité amène à la diminution de la densité, et par conséquent à l'augmentation de certaines propriétés mécaniques comme la résistance au choc[21]</li><li>➤ Sa résistance mécanique diminue dès 75 à 90 °C et contrairement au polypropylène [22]</li><li>➤ Les polyéthylènes sont également très sensibles à l'orientation, leurs propriétés mécaniques étant meilleures lorsque ces matériaux sont sollicités selon leur orientation.</li><li>➤ le polyéthylène subit une importante déformation plastique avant rupture. [23]</li></ul>
-----------	--

Les principales propriétés de ces trois types de PE sont données au Tableau suivant :

**Tableau I. 2** : Principales propriétés des différents types de PE. [24]

Propriétés	Unités	PEbd	PEmd	PEhd
Masse volumique	g.cm <sup>-3</sup>	0,915 à 0,935	0,93 à 0,945	0,945 à 0,970
Cristallinité	%	< 40	40 à 60	60 à 80
Température de fusion	°C	105 à 115	-	118 à 146
Température de transition vitreuse*	°C	-133 à -103	-	- 120
Contrainte à la rupture	MPa	8 à 15	18 à 28	26 à 40
Allongement rupture	%	150 à 1000	200 à 1200	20 à 1000

### I.4.Caractéristiques de polyéthylène

Les principales et caractéristiques attrayantes du PE sont son faible prix, son excellente isolation électrique sur une large gamme de fréquences, sa très bonne résistance chimique, sa bonne transformabilité, sa ténacité, sa flexibilité et, dans les films minces de certaines qualités, sa transparence. Le polyéthylène se distingue facilement des autres plastiques car ils flottent dans l'eau, et très facile à manier, transformer, et résistant aux variations de température. Il peut être traité de différentes manières : anti UV, alimentaire, anti abrasion (...)

# CHAPITRE I : Généralités sur le Polyéthylène

---

coloré dans la masse et être présenté sous différents aspects : miroir, lisse, rugueux, grainé (...) [25]

- Le PE est classé comme un "thermoplastique, et son nom est lié à la façon dont le plastique réagit à la chaleur. Les matériaux thermoplastiques deviennent liquides à leur point de fusion (110-130 degrés Celsius dans le cas du PEBD et du PEHD respectivement). L'une des principales caractéristiques utiles des thermoplastiques est qu'ils peuvent être chauffés jusqu'à leur point de fusion, refroidis et réchauffés à nouveau sans dégradation significative. Au lieu de brûler, les thermoplastiques comme le polyéthylène se liquéfient, ce qui leur permet d'être facilement [moulés par injection] et ensuite recyclés. [27]
- Dans La France importe beaucoup de polyéthylène pour les besoins de l'industrie plastique.

## **Autre caractéristiques**

- Température maximale d'emploi : 105 °C
- Température de fragilisation : -50°C
- Aptitude a la micro-onde : oui
- Couleur : translucide ou blanc naturel
- Indice de fluidité à chaud : (NF T51\_016 ou ISO 1133): masse de polymère s'écoulant d'une filière à 190 °C sous une charge donnée, il caractérise la masse moléculaire moyenne du polymère.
- *masse moléculaire moyenne* en nombre : Mn : 15000 à 30000 g/mole

## **I.5. Influence de l'environnement sur le polyéthylène**

Les problèmes actuels des matériaux sont d'ordre économique et technique telles que l'apparition de couleur, la perte de transparence et les modifications des propriétés de surface qui se produisent au cours de l'action combinée de plusieurs facteurs atmosphériques. Les propriétés de la plupart des polymères sont soumises à des changements résultants de la dégradation où le matériau ne peut plus accomplir sa fonction prévue sans risque, [28] Sur le plan environnemental Les matériaux polymères dégradables peuvent se dégrader par des moyens physiques et chimiques, action mécanique ou biologique ou par une combinaison de ces mécanismes ,la perte d'intégrité structurelle résulte de l'action combinée de la pluie, le vent, le soleil, les insectes, les animaux, les microorganismes, etc. Il y a de nombreuses exigences auxquelles les matériaux dégradables doivent répondre [29] aussi le polyéthylène

peut être rendu plus sensible à la pollution de l'environnement donc les sites Les principaux domaines de marché des polyéthylènes dégradables sont les matériaux d'emballage, sacs de compostage, applications agricoles ou paysagères (film de paillage), hygiène par exemple, les couches jetables et d'autres articles jetables (gobelets, plateaux de nourriture, sacs de courses). [30]

### **I.5.1. Dégradation du polyéthylène**

#### **I.5.1.1. Définition**

Nous avons tous remarqué que le seau en plastique qui reste longtemps au soleil et sous la pluie perd de son éclat et de sa solidité, et que cette détérioration des propriétés est due à un phénomène appelé, dégradation des polymères. Dans la vie quotidienne, les articles en plastique doivent faire face à des contraintes mécaniques, à la chaleur ou l'exposition aux rayons UV, à l'oxygène atmosphérique, à l'humidité, etc. et cela peut dégrader le polymère, mais selon le Comité Européen de Normalisation (CEN), ASTM et ISO les notions de « dégradation » et de « matériau dégradable » sont décrites comme suit: « La dégradation est un processus irréversible entraînant un changement significatif dans la structure du matériau ; ce changement est souvent caractérisé par une perte des propriétés initiales (masse molaire, structure moléculaire, résistance à la traction) et/ou une fragmentation. [31] Ainsi autre terme est le temps nécessaire pour qu'une propriété atteigne un seuil critique en dessous duquel le matériau n'a plus les propriétés attendue « durée de vie » [32]

#### **I.5.1.2 Types de dégradation**

Les différents mécanismes responsables de la dégradation des polyéthylènes peuvent être classés dans deux grandes catégories : dégradation les physiques et chimiques.

##### **I.5.1.2.1. Dégradation physique**

Le terme de vieillissement physique englobe tous les phénomènes qui ne modifient ni la structure chimique des macromolécules, ni celle des additifs On distingue :

- - les vieillissements physiques avec transfert de masse dans lesquels de la matière est adsorbée ou désorbée par le matériau (pénétration de solvants, migration d'adjuvant,...).
- - les vieillissements physiques sans transfert de masse pour lesquels il n'y a pas d'échange de ce type, ce qui concerne en particulier les vieillissements sous contrainte mécanique et les phénomènes de relaxation.[33]

##### **I.5.1.2.2. Dégradation chimique**

## CHAPITRE I : Généralités sur le Polyéthylène

---

On appelle dégradation chimique tout phénomène incluant une modification de la composition chimique du matériau sous l'influence de l'environnement. [34] Dans la pratique, il s'agit le plus souvent d'une dégradation entraînée par l'attaque d'un réactif chimique, On rencontre donc différents modes de dégradation : thermo-chimique, thermo-oxydatif, photochimique, radiochimique, hydrolytique et biochimique, le PE dont le mode de dégradation chimique implique la consommation chimique des antioxydants et l'oxydation du polymère.[34]

La dégradation chimique peut avoir différentes origines :

### **1) - La chaleur (La dégradation thermique) :**

Les molécules d'un polymère sont constituées de liaisons chimiques qui chacune possède une énergie donnée. Si la température est suffisante, une liaison peut être détruite entraînant la rupture des chaînes moléculaires comme le polyéthylène, la matière est peu à peu dégradée [33]. La dégradation thermique implique généralement des changements du poids moléculaire et de la distribution de poids moléculaire du polymère. A la limite, la dégradation thermique peut provoquer une combustion, réaction fortement exothermique. [34]

### **2) - La lumière (La photo-dégradation) :**

Un rayon lumineux est porteur d'énergie, celle-ci dépendant de la longueur d'onde associée. Si elle est suffisamment élevée, elle peut être à l'origine de la dégradation du polymère. Le rayonnement UV qui possède de faibles longueurs d'onde et donc une énergie élevée est particulièrement néfaste. Ainsi que la photo-dégradation est améliorée par l'introduction de filtres absorbant de les UV a le long de la chaîne du polyéthylène ou par mélange de polyéthylène avec des additifs absorbant de les UV. [33]

### **3) - l'oxygène (oxydation) :**

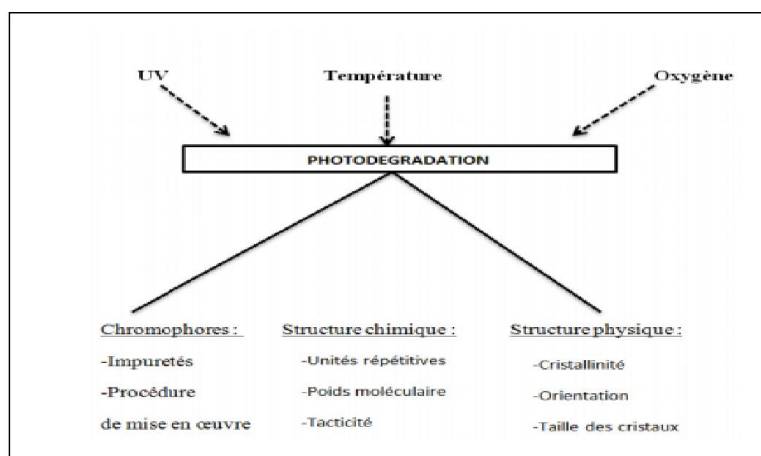
Lorsque les liaisons se rompent sous une action mécanique, thermique, photochimique, des radicaux libres très réactifs se créent. Par combinaison avec l'oxygène, ces radicaux conduisent à la formation de peroxydes et d'hydroperoxydes. Les hydroperoxydes sont des produits instables se décomposant sous l'effet des UV ou de la chaleur et qui vont ensuite provoquer la scission des chaînes du polyéthylène.[33]

### **I.5.3. Facteurs influençant la dégradation [35]**

La dégradation est influencée par la structure chimique des plastiques d'autre part Pendant la production, le stockage, le traitement et l'application intérieure ou extérieure, les polymères sont exposés à des conditions physiques (la chaleur, effort mécanique, rayonnement, champ électrique); chimiques (oxygène et sa forme active, polluants

# CHAPITRE I : Généralités sur le Polyéthylène

atmosphériques (d'oxydation) ou biologiques (micro-organismes, environnement physiologique).



**Figure I.6 :** Facteurs influençant la dégradation. [36]

## I.6. Procédé Mise en œuvre [37]

La diversité des polymères se traduit par une diversité de procédés de mise en forme. Les propriétés différentes des matériaux et la diversité des résultats escomptés induisent une multitude de méthodes de mise en œuvre

Procèdes	Température	Quelque information
Extrusion	190-200 °C pour les PE Basse densité 160-180 °C pour les PE Haute densité	
Extrusion - soufflage	200 °C	Elle permet l'obtention de corps creux à des températures de l'ordre de 200 °C. Notamment les réservoirs à carburant pour l'automobile
injection	170-230 °C pour les PE Basse densité 150-300 °C pour les PE Haute densité	Après ébardage et décarottage, les pièces sont utilisables sans usinage

**Tableau I.3 :** Représentation procédés mise en œuvre

## I.7. Recyclage de polyéthylène

Il faut tout d'abord savoir que le polyéthylène est recyclable à 100% , qu'il en existe de différentes sortes (PE basse densité, moyenne densité et haute densité).

## CHAPITRE I : Généralités sur le Polyéthylène

Quand il atteint sa limite d'utilisation, qu'il fait preuve d'obsolescence, le polyéthylène peut être entièrement recyclé. Le processus est simple. Il est tout d'abord broyé afin de faciliter la seconde étape qui le transforme en le chauffant à 200 degrés. Une fois cette étape accomplie, il est de nouveau utilisable pour de nouvelles applications.

De plus, lors de son recyclage, le polyéthylène permet de faire des économies d'eaux et d'énergie. Les économies d'eaux se réalisent par le circuit de refroidissement, celui-ci étant fermé, l'eau n'est plus gaspillée. L'économie d'énergie, se fait par sa température pour le transformer en état de fusion. Cette dernière est faible, donc il faut naturellement moins d'énergie. Le polyéthylène est un matériau ha Actuellement, on distingue deux types de réutilisation du PE :

- Le Recyclage matériel : le PE use est collecte par l'industrie du PE, puis transforme en granules servant de base a la fabrication de nouveaux produits en PE.
  - Le recyclage thermique : il repose sur la valorisation énergétique des déchets en matière synthétiques.
- ✓ Bien que les polyéthylènes soient recyclables, la plupart de leurs applications commerciales finissent dans les décharges, mers et océans.

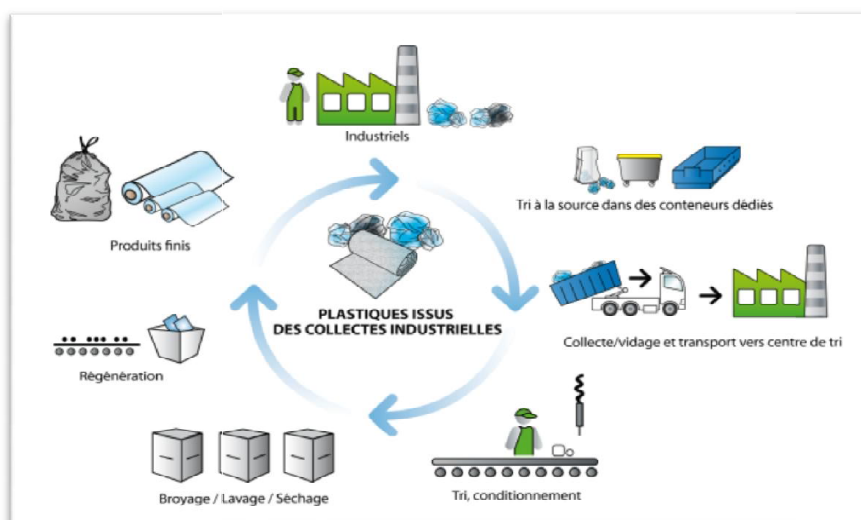


Figure I.7 : cycle de recyclage du polyéthylène. [37]



**Figure I.8 :** Codes d'identification de recyclage de polyéthylène : PEHD , LDPE , PEBD.

### **I.8. Formes commerciales du polyéthylène [38]**

Le polyéthylène pour moulages est livré en poudre ou en granulés dans une grande gamme de coloris opaques ou transparents

### **I.9. Usage et domaine d'application [39]**

Aujourd'hui, le polyéthylène est devenu une matière incontournable. Nous l'utilisons dans de nombreux domaines comme l'automobile, la construction, nos emballages, nos sacs plastiques... . Toute cette consommation représentait en 2000, au niveau mondial, 36 millions de tonnes (soit plus de 50% de la consommation mondiale de matières plastiques), et grâce à sa bonne étirabilité, bonne stabilité thermique, sans odeur, est employé sur des papiers kraft, cartons, cartons ondulés, cellophane, feuilles d'aluminium, toile de jute

Le polyéthylène est très présent à l'échelle planétaire et est surtout, très précieux. Le polyéthylène est très prisé pour son bilan énergétique qui est nul et sa fiabilité en termes d'étanchéité, son taux de défaillance est presque nul ! En effet, le polyéthylène redonne l'énergie qu'il a fallu pour le créer lorsqu'il est incinéré. En étant incinéré il produit une importante source d'énergie qui sert à créer de l'électricité. Le polyéthylène est une ressource quasiment inépuisable.

#### **Quelque application de PEBD et PEHD :**

**PEBD :** produits souples : sacs, films, sachets, bidons, récipients est principalement utilisé pour les pots à lait, les bouteilles de détergent, les déchets et les conduites d'eau, en raison de sa grande résistance à la traction

**PEHD :** objets rigides (bouteilles, flacons, bacs poubelles, tuyaux, jouets, ustensiles ménagers, boîtes de conservation), a une résistance à la traction plus faible et est utilisé principalement pour les sacs en plastique

## CHAPITRE I : Généralités sur le Polyéthylène

### ➤ Remarque

1) Certains sacs plastiques sont constitués par du PEHD : lorsque le sac se froisse facilement sous la main, avec un bruit craquant et revient spontanément à sa forme d'origine, c'est du PEHD. Lorsque le touché est plus « gras », que le plastique se froisse sans bruit et se perce facilement avec le doigt, c'est du PEBD

2) En Europe de l'Ouest, environ 70 % du PE-BD et du PE-BDL sont utilisés sous forme de films, sacs et sachets principalement pour l'emballage et les applications agricoles.

**Tableau I.4 :** Principales applications du PE et son pourcentage [38]

Types d'applications	Répartition du tonnage consommé
Films pour emballages, sacs.....	40%
Tubes et gainage de câbles électriques...	14%
Bouteilles et corps creux.....	22%
Emballages ménagers, jouets, caisses ...	18%
Cuves de grande capacité ...	6%

### I.10. Les Avantages et Les inconvénients du polyéthylène [40]

#### I.10.1. les avantages du polyéthylène

##### ➤ Solidité, résistance aux chocs et à l'abrasion, même à froid...

Les propriétés mécaniques garantissent robustesse et inaltérabilité, il est employé pour la fabrication des gilets pare-balles, coques de bateau, par exemple... Il bénéficie également d'un faible coefficient de friction.

##### ➤ Inertie chimique et Non toxique pour usages alimentaire.

Le polyéthylène est garanti atoxique, il peut ainsi être employé pour usages alimentaires. Il présente également une grande stabilité par rapport aux agents chimiques comme les acides, les graisses ou les hydrocarbures.

## CHAPITRE I : Généralités sur le Polyéthylène

---

### ➤ Résistant à la corrosion et à l'oxydation...

Employé pour la production de cuves, il garantit une fiabilité maximum face aux problèmes de corrosion et d'oxydation. Il empêche la formation d'algues et peut être traitées avec des agents anti-UV.

### ➤ Adaptabilité

Il est possible de produire des pièces de toutes tailles et contenance ; ses propriétés mécaniques permettent de le manipuler / façonner aisément : perçage, ajout de pièces métalliques, accessoires, raccords, personnalisations...

### ➤ Sécurité Légers et résistants,

les produits en polyéthylène sont faciles à manipuler et réduisent les risques sur les chantiers par exemple, comparé à d'autres matériaux.

### ➤ Isolation électrique.

### ➤ Respect de l'environnement

Abondamment disponible, et 100% recyclable. De nouvelles avancées technologiques permettent de l'obtenir à partir de ressources non fossiles telles que la canne à sucre.

- - Il existe certaines différences entre les polyéthylènes basse (PELD) et haute densité (PEHD). Le polyéthylène de basse densité sera plus souple que le PEHD, mais il possède une résistance mécanique moindre. **Le polyéthylène haute densité est un matériau rigide qui présente une excellente résistance aux chocs, à la pression, à l'abrasion et aux variations de température.**

### I.10.2. Les inconvénients du polyéthylène

- Les polyéthylènes présentent une **faible résistance aux agents oxydants**. Par oxydation de surface ou dégradation mécanique.
- le polyéthylène peut en effet perdre son caractère hydrophobe. D'autre part, bien que ces matériaux soient robustes, ils restent sensibles aux risques de fissuration sous très forte contrainte.
- - Leur résistance à la chaleur varie selon leur catégorie. **Le PELD, utilisé pour la fabrication des sacs en plastique, films ou barquettes souples, ne résiste pas à**

## CHAPITRE I : Généralités sur le Polyéthylène

---

**une haute température.** Cette polyoléfine est donc non compatible avec le four à micro-ondes par exemple. En revanche, le PEHD est une polyoléfine semi-cristalline qui résiste aux températures élevées, jusque 105 °C et aux températures basses jusque -50°C à -250°C selon les grades.

- - Le polyéthylène est toxique lorsqu'il est sous forme liquide. Il peut causer des problèmes s'il est inhalé ou absorbé par la peau. Les yeux sont également affectés par la vapeur de polyéthylène. Il est donc extrêmement important de suivre toutes les consignes de sécurité lors de la manipulation du polyéthylène liquide.
- - Le polyéthylène brûle facilement. Les polyéthylènes expansés sont plus inflammables en raison de leur mauvaise conductivité thermique qui empêche la diffusion de la chaleur due à une élévation de la température en un point quelconque de la masse.

# CHAPITRE I : Généralités sur le Polyéthylène

---

## Références

- [ 1]. Bernard LEVRESSE., « Polyéthylène basse densité »,Réf : J6539 v1.,1993
- [2] . « Le polyéthylène », [en ligne]. Disponible sur :  
<http://fr.wikipedia.org/wiki/Polyéthylène> (consulté le :12/02/2011 )
- [3] J.T. Sun, Y.D. Huang, G.F. Gong, H.L. Cao, «Thermal degradation kinetics of poly(methylphenylsiloxane) containing methacryloyl groups», Polymer Degradation and Stability, Vol. 91, 2006, pp 339-346.
- [4] Mark A. Spalding, Ananda Chatterjee «Handbook of Industrial Polyethylene and Technology ( Definitive Guide to Manufacturing, Properties, Processing, Applications and Markets Set). 26 oct. 2017 . p 108 -109
- [5] Bouterfa Meriem « Etude De La Determination Du Parametre D'interaction Entre Deux Polymeres Par Voie Mecanique "Effet Du Compatibilisant Sur Ce Parametre » Thèse Magister .Universite Ferhat Abbas Setif .2011
- [6] Ines MKACHER « Vieillissement thermique des gaines PE et PVC de câbles électriques » thèse de doctorat. École doctorale n° 432 : Science des Métiers de l'Ingénieur, 2012
- [7]. MEDJDOUB Noredine « Etude des mélanges et des composites à base du système PLA/(PEBD-PEBD-L): Caractérisations morphologique et thermo-rhéologique et Etude de la biodégradation » , - thèse de doctorat . Université Ferhat ABBAS Sétif-1,2017
- [8] « Propriétés Physiques Des Matériaux Polyethylene » ,Disponible Sur ,  
<Http://Dspace.Univ-Tlemcen.Dz> ,Consulté12/09/2020
- [9] « Connaissance de polyéthylène », Documentation technique de la société ELF ATCHEM, octobre 1995.
- [10]Bernard LEVRESSE Principe des procédés haute pression Polyéthylène basse densité ,Réf : J6539 ,v1,10 juin 1993
- [11 ] Nathalie SCHULTZ ,cour « Comparaison entre les polyéthylènes haute et basse densité PEhd et PEbd », (2<sup>ème</sup> Année Chimie). Mars 2000
- [12]Groupe Aliaxis dossier technique. Usine Glynwed. France, 2011
- [13]ouzebiha saida- biba fazia Synthèse Et Caractérisation Des Films Thermorétractables A Base De Polyéthylène ,Rapport De Stage , Université A. MIRA – Béjaïa . 2016

## CHAPITRE I : Généralités sur le Polyéthylène

---

- [14] Plastiques, Risque et Analyse Thermique, disponible sur, <http://www.inrs.fr>
- [15] J-P.Bilon, J-M.Dorlot, Des matériaux, Ecole Polytechnique de Montréal, Sciences Exactes, Département de Chimie (2009)
- [16] « Etude de la photo-dégradation du polyéthylène basse densité en présence des cétones aromatique » cour, disponible sur, <https://www.clicours.com>
- [17] Sandor FÜZESSÉRY « Polyéthylènes basse densité » Réf: A3310 v2 10 nov. 1996
- [18] Ludovic DOUMINGE « Etude du comportement du polyéthylène haute densité sous irradiation ultraviolette ou sollicitation mécanique par spectroscopie de fluorescence » ,Université de La Rochelle , 2010
- [19] philos trans RSoc Lond B Biol SCI « Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends » , Réf PMC2873021 ,v364(1526) 27 juillet 2009
- [20] Le polyéthylène haute densité ,disponible sur, <https://fr.wikipedia.org/wiki>
- [21] Zaidi Latifa « Etude de la dégradation thermique de polymères soudables : Cas des réseaux de distribution de gaz naturel » ,BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY, 2011
- [22] « le polyéthylène » , disponible sur , <https://www.societechimiquedefrance.fr>
- [23] « différents types de matières plastiques » , cour, disponible sur <http://colleges.ac-rouen.fr>
- [24] <http://ecoroute.uqcn.qc.ca/educ/etiquettes.htm>
- [25] F J.Gossot : Les matières plastiques, fabrication, technologie, BORDAS, paris (1977)
- [26] « le polyethylene infos pratiques caractéristiques avantages inconvénients informations diverse » , disponible sur, <https://roto30-rotomoulage.com/>

***Chapitre II :***  
***Matériaux Composites***

## II. Généralité sur les matériaux composites

### II.1. Introduction

La production des matériaux composites se développe rapidement dans le monde entier. Dans ce chapitre nous présentons une synthèse bibliographique sur les matériaux composites (renforts fibreux naturels/ matrice), ainsi qu' une présentation de chacun. En suite nous présentons les fibres naturelles : leur types et leurs utilisations.

### II.2. Les matériaux composites

#### II.2.1. Définition

Un matériau composite est défini comme étant un regroupement de deux composants non miscibles, les deux ont une capacité élevée d'adaptation [1]. Différentes matrices dans un matériau composite intégral sont disponibles pour satisfaire les exigences de l'utilisateur, de tels systèmes de matériaux composites entraînent un rendement inaccessible par les constituants individuels ; et ils offrent le grand avantage d'une conception flexible, c'est-à-dire qu'on peut, en principe, personnaliser le matériau selon les spécifications d'une conception optimale. [2]

#### II.2.2. Constituants des matériaux composites

Un matériau composite est constitué de différentes phases nommées renforts et matrice. Lorsque le matériau composite est non endommagé, les renforts et la matrice sont parfaitement liés et il ne peut pas y avoir ni glissement ni séparation entre les différentes phases. Les renforts se présentent sous forme de fibres continues ou discontinues. Le rôle du renfort est d'assurer la fonction de résistance mécanique aux efforts. La matrice assure quant à elle la cohésion entre les renforts de manière à répartir les sollicitations mécaniques. L'arrangement des fibres et leur orientation permettent de renforcer les propriétés mécaniques de la structure. [3]

En outre, d'autres composants peuvent être ajoutés aux matériaux composites comme les charges qui augmentent la résistance de la matrice, les interfaces pour améliorer l'adhésion fibres/matrice et les additifs qui protègent le composite contre l'humidité et les UVs.

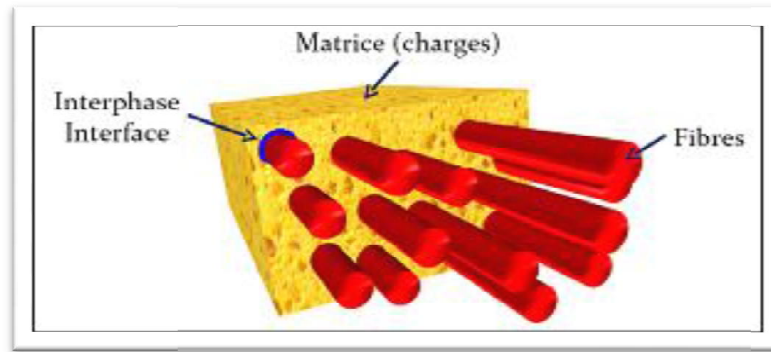


Figure II.1 : Eléments constituant d'un matériau.[4]

### II.2.3. Classification des composites

Il existe aujourd'hui un grand nombre de matériaux composites qu'on peut classer soit selon la forme des composants ou suivant la nature des composants

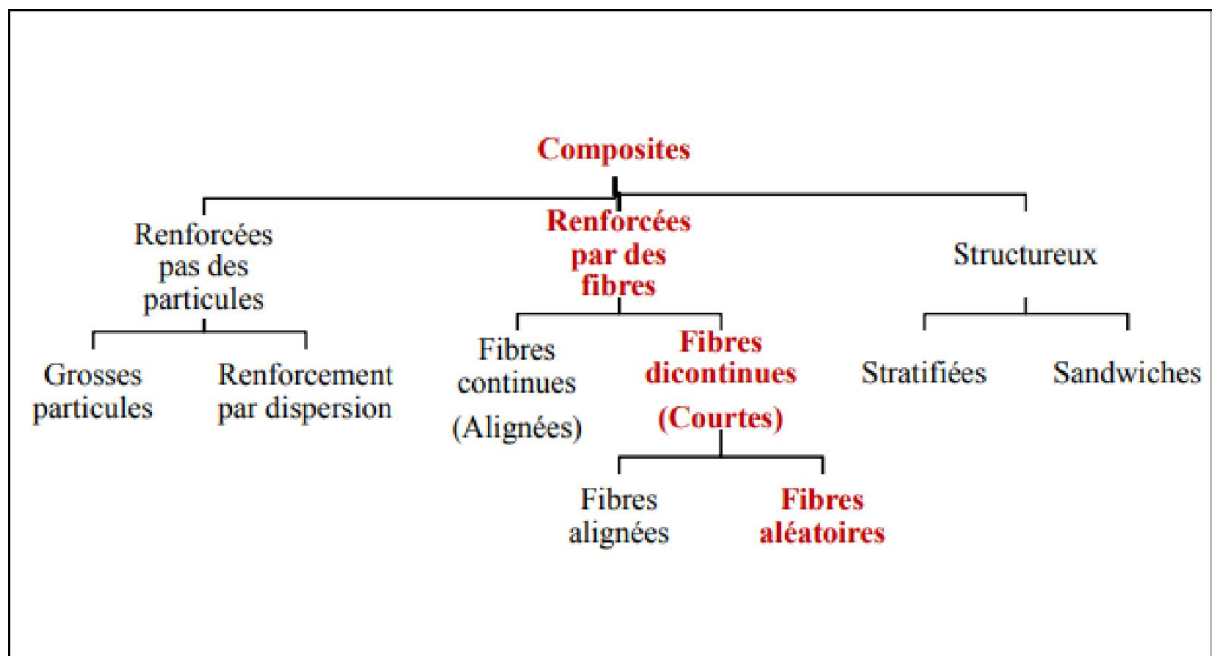


Figure II.2 : Classification schématique des différents types de composites. [5]

#### II.2.3.1. Selon la géométrie

##### II.2.3.1.1. 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 soit sous forme de fibres continues, soit sous forme de fibres discontinues (Courtes) fibres alignées fibres aléatoires. 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 isotropes dans un plan. [5]

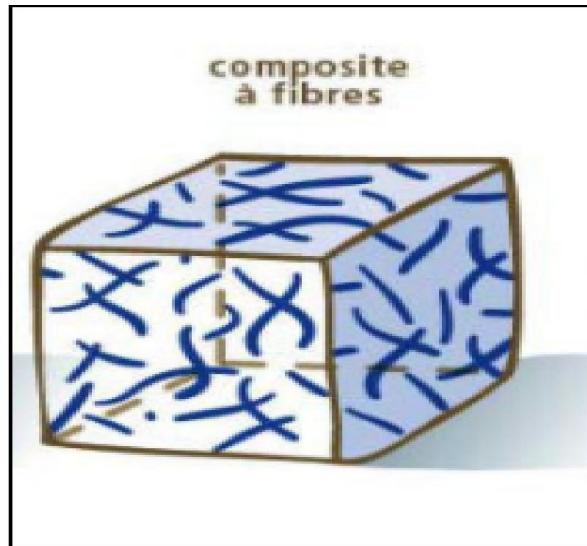


Figure II.3: Composites à particules. [6]

### II.2.3.1.2. Composites structuraux

La fabrication d'un renfort peut se faire avec des fibres dispersées au hasard ou orientées dans une ou plusieurs directions. Des axes de renforcement peuvent être définis par le croisement de fils (le tissage). Des structures 3D ont également été développées afin d'améliorer le renforcement du matériau et d'apporter une solution aux problèmes de délaminage. [5]

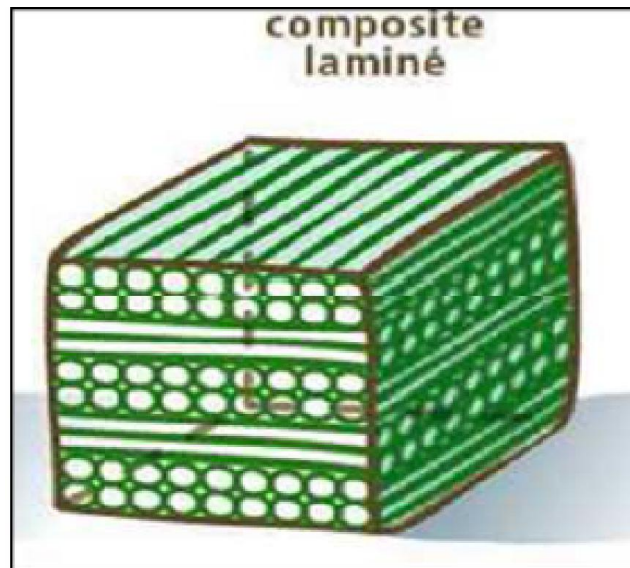


Figure II.4: Composites structuraux. [6]

### II.2.3.1.2. Composites à particules

Un matériau composite est un composite à particules lorsque le renfort se trouve sous

## CHAPITRE II : Matériaux Composites

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 ou des matrices, comme la rigidité, la tenue à la température, la résistance à l'abrasion, la diminution du retrait, etc. Dans de nombreux cas, les particules sont simplement utilisées comme charges pour réduire le coût du matériau, sans en diminuer les caractéristiques. [7]

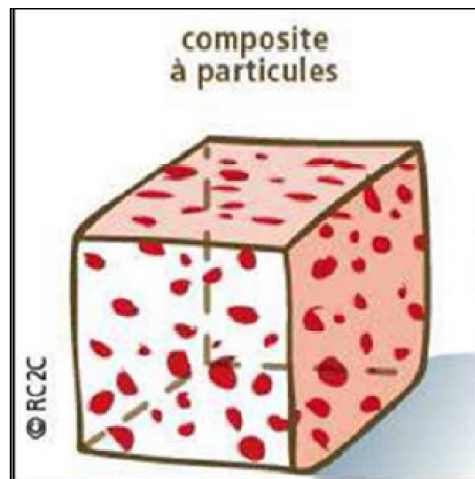


Figure II.5: Composites à particules. [6]

### II.2.3.1.3. Les stratifiés

Un stratifié est constitué d'un empilement de monocouches ayant chacune une orientation propre à un référentiel commun aux couches et désigné comme le référentiel du stratifié. En jouant sur l'ordre et l'orientation de ces couches, il est possible d'adapter finement les propriétés mécaniques du stratifié aux sollicitations extérieures, et donc d'atteindre un haut niveau d'optimisation en mettant la matière là où elle est le plus utile. [5]

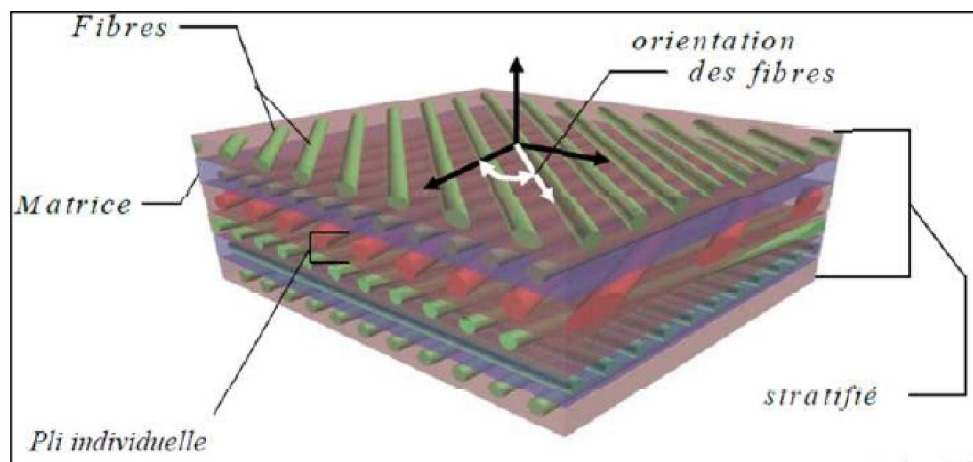
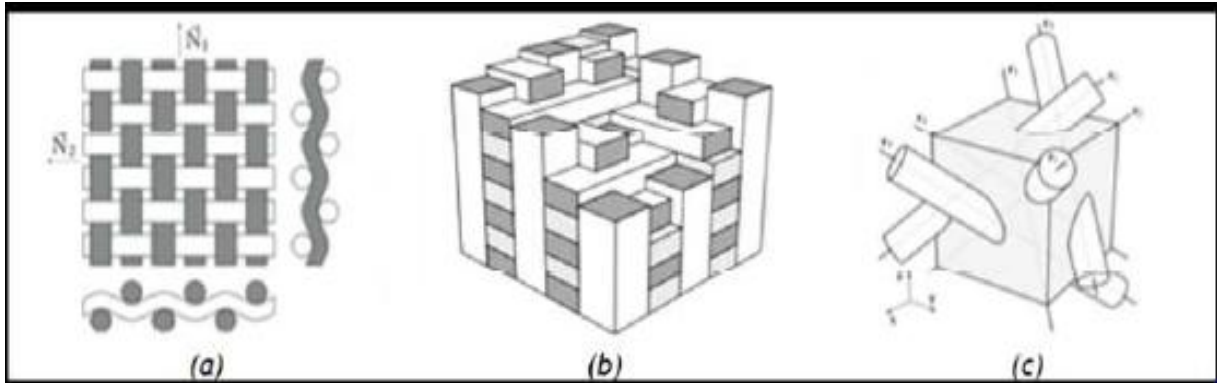


Figure II.6: composite stratifié. [7]

### II.2.3.1.4. Les Composites tissés

## CHAPITRE II : Matériaux Composites

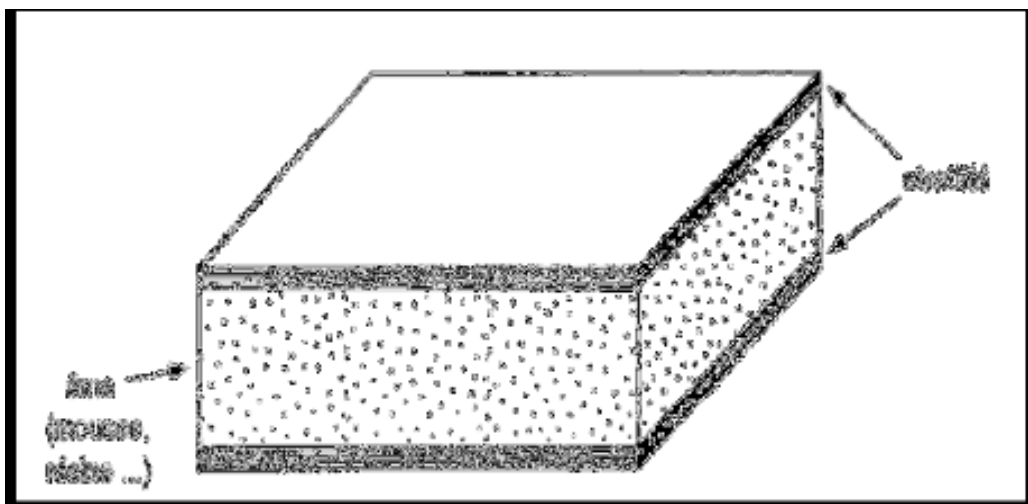
Dans ces structures, les fibres sont tressées ou alignées en "câbles" nommés torons ou simplement fils, comptant chacun quelques centaines ou milliers de fibres. Ces fils sont ensuite tissés selon des motifs plus ou moins sophistiqués, les motifs du tissu peuvent être extrêmement variés selon les caractéristiques voulues du matériau. [5]



**Figure II.7 :** Exemples d'architectures utilisées avec les CMC : (a) tissu 2D équilibré, (b) tissu 3D tri-orthogonal, (c) tissu « 4D » (renforcé selon les quatre diagonales d'un cube). [8]

### II.2.3.1.5. Les sandwichs

Une structure sandwich est obtenue à partir de deux peaux ou semelles, réalisées dans un matériau ayant de très bonnes caractéristiques mécaniques, collées sur une âme réalisée avec un matériau très léger et ayant de faibles caractéristiques mécaniques. Une telle structure présente en flexion des rapports résistance/masse et rigidité/masse très importants. [9]



**Figure II.8 :** Matériaux sandwichs à âmes pleines. [6]

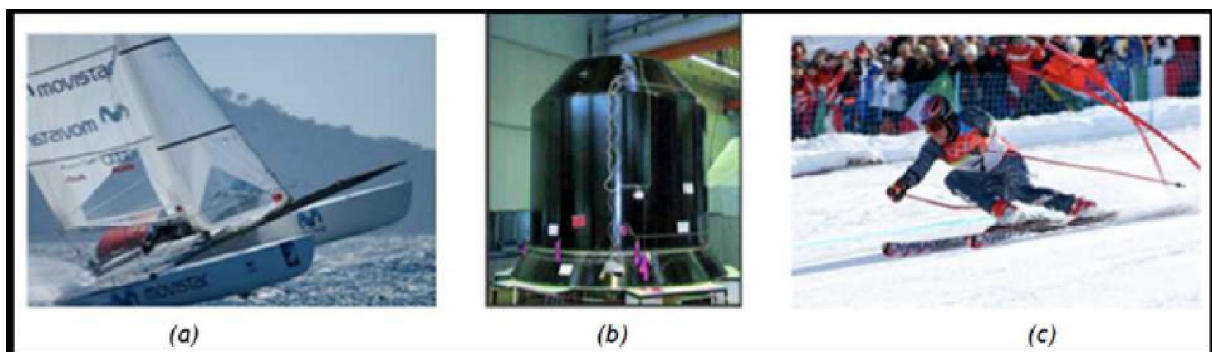
### II.2.3.2. Selon la nature des constituants

### II.2.3.2.1 Selon la nature de la matrice

Les matériaux composites sont classés et divers renforts sont associés à ces matrices. Seules certaines associations entre matrices et fibres sont possibles et ont actuellement un usage industriel, d'autres faisant l'objet d'un développement dans les laboratoires de recherche.

#### II.2.3.2.1.1. Les composites à matrices organiques (CMO)

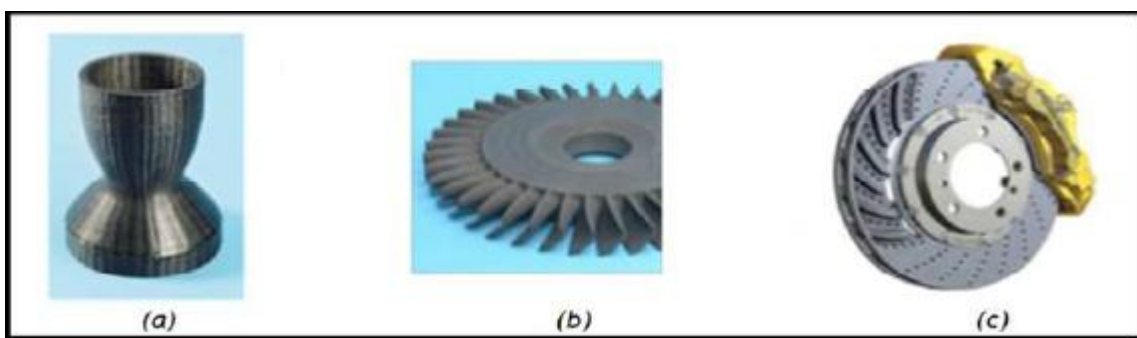
Qui constituent, de loin, les volumes les plus importants aujourd'hui à l'échelle industrielle. [5]



**Figure II.9:** Quelques applications des CMO "haute performance" : (a) un catamaran, (b) le support de la charge utile d'Ariane 5, (c) des skis de compétition (image de Thomas Grollier) .[8]

#### II.2.3.2.1.2. Les composites à matrices céramiques (CMC)

Sont réservés aux applications de très haute technicité et travaillant à haute température comme dans les domaines spatial, nucléaire et militaire. [5]



**Figure II.10:** Quelques applications des CMC : (a) la tuyère d'un moteur spatial, (b) le disque à aubes d'une turbine (image GE Energy), (c) un disque de frein haut de gamme (image Porsche). [10]

#### II.2.3.2.1.3. Les composites à matrices métalliques (CMM)

## CHAPITRE II : Matériaux Composites

Les composites à matrice métallique ont des propriétés mécaniques meilleures ou plus adaptables aux changements, ils sont généralement utilisés dans les moteurs d'automobile. La matrice peut être en Aluminium, Magnésium ou bien Titane.



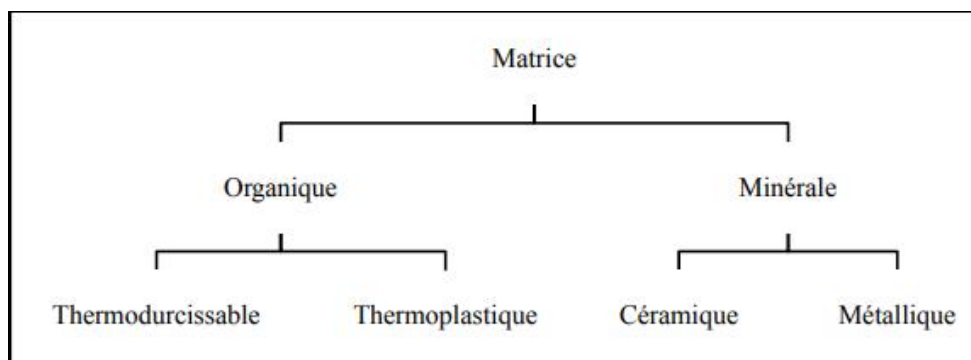
**Figure II.11** : Exemples d'applications des composites à matrice métallique. [11]

### II.2.4. Composant des matériaux composites

#### II.2.4.1. La matrice

Dans un matériau composite, le terme matrice désigne la matière solide qui entoure les renforts pour former une masse compacte. La matrice permet de lier les fibres du renfort fibreux entre elles, ainsi que de répartir les efforts (résistance à la compression ou à la flexion). La matrice est facilement déformable et assure la protection chimique des fibres, et lie les fibres du renfort entre eux et assure la répartition de la contrainte c'est « l'emballage ». Les matrices doivent présenter une bonne compatibilité avec le renfort. En outre, elles doivent avoir une masse volumique faible de manière à conserver aux matériaux composites des caractéristiques mécaniques spécifiques élevées. [7].

Les différentes familles de matrice sont résumées dans le schéma de la **Figure II.2** :



**Figure II.12** : Organigramme illustrant les différentes familles de matrice. [5]

#### II.2.4.1.1. Les différentes familles de matrices

Les matrices peuvent être décomposées en quatre catégories en fonction du besoin industriel: Les matrices thermodurcissables, les matrices thermoplastiques, les matrices thermostables, et les matrices métalliques et céramiques. On distingue deux familles de

## CHAPITRE II : Matériaux Composites

---

matrices organiques : les thermoplastiques TP qui sont des polymères qui imprègnent le renfort après fusion puis se solidifient par refroidissement, et les thermodurcissables TD, qui sont des résines liquides qui se solidifient par réaction chimique de réticulation.

### ✚ II.2.4.1.1.1. Matrices thermodurcissables

Les matrices thermodurcissables (TD) sont des polymères (macromolécules tridimensionnelles) qui ne peuvent être mis en forme qu'une seule fois mais qui possèdent des propriétés mécaniques et thermomécaniques élevées par rapport aux thermoplastiques. On distingue principalement les polyesters insaturés, les résines époxydes. [12]

Les matrices thermodurcissables sont les plus utilisées dans l'industrie. En effet, les matrices polyester ont des propriétés mécaniques intéressantes pour un faible coût et représentent 90% du marché. Toutefois, les matrices époxy ne représentent que 5% du marché global, mais sont les plus utilisées pour les applications aéronautiques hautes performances froides (<180°C) car elles présentent de bonnes propriétés mécaniques intrinsèques et ont une forte adhésion avec les fibres de carbone ou de verre. Le temps de polymérisation de ces matrices et leur coût limite leur usage aux applications structurales fortement sollicitées mécaniquement. [13]

### ✚ II.2.4.1.1.2. Matrices thermoplastiques

Les thermoplastiques sont des chaînes polymères reliées entre elles par de faibles liaisons. Ils sont recyclables et possèdent au moins un solvant. Les thermoplastiques représentent le plus grand tonnage en termes de production à cause de leur facilité de mise en œuvre et de faibles coûts. Ce sont principalement les plastiques traditionnels (le polychlorure de vinyle PVC, le polyéthylène PE, le polypropylène PP, le polyamide PA, les polycarbonates PC, etc.). Leur recyclabilité et leur thermo réversibilité constituent des avantages très importants. [13]. Il existe aussi des thermoplastiques à usage spécifique qui peuvent résister à des températures de l'ordre de 200°C. Les principales matrices TP utilisées (possédant tous une tenue en température supérieure à 100 °C, hors POM).

Les principales familles de thermoplastiques trouvées dans le commerce sont :

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

## CHAPITRE II : Matériaux Composites

- les cellulosiques.

### ➤ Remarque

En ce qui concerne la matrice, les plus répandues et utilisées jusqu'à ce jour sont les polymères thermodurcissables et les polymères thermoplastiques. La première famille fait intervenir une polymérisation irréversible qui conduit à un produit fini solide et infusible, et donc non transformable ce qui rend tout recyclage difficile. Les matrices thermoplastiques ont quant à elles pour base un polymère qui peut être mis en forme à l'état liquide (visqueux) à une température soit supérieure à sa température de transition vitreuse, soit supérieure à sa température de fusion ; les pièces ainsi obtenues sont soudables et donc aptes à prendre une nouvelle forme. Néanmoins, malgré cet avantage, les matrices thermodurcissables sont les plus adoptées dans le domaine des matériaux composites techniques. En effet, à cause de leur viscosité élevée, l'imprégnation du renfort fibreux avec une matrice thermoplastique à l'état fondu est délicate. Parmi les résines thermodurcissables, la famille des époxy possèdent des propriétés mécaniques supérieures aux autres.

**Tableau II.1** : Principales différences entre matrices TP et TD

Matrices	TD	TP
Etat de base	Liquide visqueux à polymériser	Solide prêt à l'emploi
Stockage	Réduit	Illimité
Mouillabilité des renforts	Aisée	Difficile
Moulage	Chauffage continu	Chauffage +refroidissement
Cycle	Long (polymérisation)	Court
Tenue au choc	Limitée	Assez bonne
Tenue thermique	Meilleure	Réduite (sauf nouveau TP)
Chutes et déchets	Perdus ou utilisés en charges	Recyclables
Conditions de travail	Emanations de solvants	Propreté

### II.2.4.1.1.3. Matrices thermostables

Ce sont des polymères présentant des caractéristiques mécaniques stables sous des pressions et des températures élevées (>200°C) appliquées de façon continue. Cette propriété est mesurée en déterminant la température que peut supporter la résine durant 2000 h sans perdre la moitié de ses caractéristiques mécaniques. [14]

### II.2.4.1.1.4. Matrices Céramiques

Les matrices céramiques sont composées d'un ou plusieurs métaux combinés à un élément dont le plus courant est l'oxygène comme par exemple  $AL_2O_3$  (Alumine),  $SiO_2$  (Silice),  $MgO$  (Magnésie). Beaucoup moins répandus que leurs homologues à matrice organique en raison d'un coût élevé, les CMC s'adressent aux applications à très hautes températures. Ils sont principalement utilisés dans l'industrie spatiale et l'aéronautique militaire, ainsi que pour la conception d'organes haut de gamme comme des disques ou plaquettes de freins . Les céramiques possèdent de nombreux atouts pour de telles applications : elles peuvent résister à des températures très élevées, sont plus légères que de nombreux métaux, et présentent une bonne stabilité chimique. Malheureusement, leur grande fragilité limite fortement leur domaine d'utilisation. [5]

### II.2.4.1.1.5. Matrices Métalliques

Composites à matrice en métal sont des matériaux qui combinent la dureté des métaux et la rigidité de la céramique. Ce type de résines est utilisé comme liant dans des applications nécessitant un matériau aux bonnes propriétés spécifiques et possédant une bonne tenue en température. A l'heure actuelle, ces applications restent peu nombreuses et sont limitées aux secteurs de pointe à cause du coût de mise en œuvre et de la complexité d'imprégnation. Les matrices les plus utilisées à ce jour sont les alliages d'aluminium. Les fibres utilisées sont le carbone et les fibres céramiques. [15]

### II.2.4.2. Renfort

Souvent sous forme de fibres. Les renforts contribuent à améliorer la résistance mécanique et la rigidité des matériaux composites et se présentent sous forme filamentaire, allant de la particule de forme allongée à la fibre continue qui donne au matériau un effet directif. Ils sont caractérisés par :

- la nature de la fibre, minérale ou organique,
- l'architecture du renfort. [16]

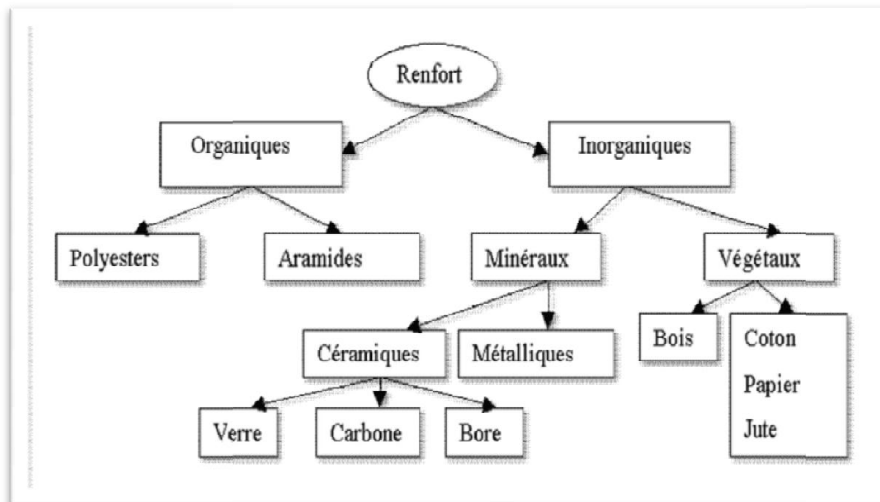
Les fibres de renforcement des matériaux composites modernes ont deux origines

#### Minérale :

- fibres de verre,
- fibres de carbone,
- fibres de bore,
- fibres céramiques (alumine, carbure de silicium).

### Organique :

Fibres d'aramide



**Figure II.13 :** Principaux matériaux de renfort. [16]

#### II.2.4.2.1. Les familles de renforts

Les propriétés physiques et mécaniques sont fortement influencées par la nature des fibres. La forme du renfort est fonction de l'application et du volume de pièces à réaliser, elle permet de distinguer deux grandes familles.

##### II.2.4.2.1.1. Renfort En Fibres Discontinues [7]

Des fibres courtes, ou particules (charges sous forme de microbilles, de fibres broyées, d'écailles ou de poudre), permettent d'améliorer certaines propriétés de la matrice (résistance à l'usure, propriétés thermiques, poids). Celle-ci reste l'élément de base et on obtient alors un « polymère renforcé »

##### II.2.4.2.1.2. Renfort Continu [7]

Cette forme fibreuse offre une résistance à la rupture et souvent un module d'élasticité beaucoup plus élevée que ceux du même matériau massif, avec une augmentation de la longueur de 10000 fois, ou bien pour le même volume, la surface est multiplié par 100 dans le cas des fibres de verre. Ces renforts ont le rôle d'assurer la bonne tenue mécanique des composites et sont disposés au sein du matériau en fonction des propriétés recherchées. Pour créer une structure résistante adaptée aux contraintes mécaniques.

### II.2.4.2.2. Présentation des fibres naturelles

Les fibres naturelles sont utilisées depuis 3000 ans dans les composites, par exemple dans l'ancienne Égypte, où la paille et l'argile étaient mélangés pour construire des murs. Au cours de la dernière décennie, les composites renforcés de fibres naturelles ont reçu une attention croissante, tant auprès du monde universitaire que de diverses industries. Il existe une grande variété de fibres naturelles qui peuvent être utilisées pour le renforcement ou comme charges [17]. Les fibres naturelles sont subdivisées en fonction de leur origine, venant des plantes, des animaux ou des minerais les fibres naturelles sont des structures biologiques principalement composées de cellulose, hémicelluloses et lignine. Elles contiennent aussi des extractibles, des protéines et certains composés inorganiques en faibles proportions. La fibre naturelle peut être considérée en tant que composites naturels (biocomposites) consistant principalement en fibrilles de cellulose encastrées dans la matrice de lignine. Au cours de ces dernières années, plusieurs chercheurs se sont intéressés à l'exploitation de la fibre naturelle en tant que renfort pour les matériaux composites.

#### II.2.4.2.2.2. Classification les fibres naturelles

##### II.2.4.2.2.2.1. Selon leur origine

###### ➤ Les fibres animales

Les fibres animales ont des propriétés spécifiques importantes telles que les propriétés mécaniques (résistance et rigidité), la biodégradabilité, leur origine renouvelable mais elles ne sont pas beaucoup utilisées comme renfort dans les matériaux composites à cause de leur prix élevé et leur faible production ; ils proviennent des poils, telle que la toison animale, et des sécrétions telle que la soie. [18]

###### ➤ Les fibres végétales

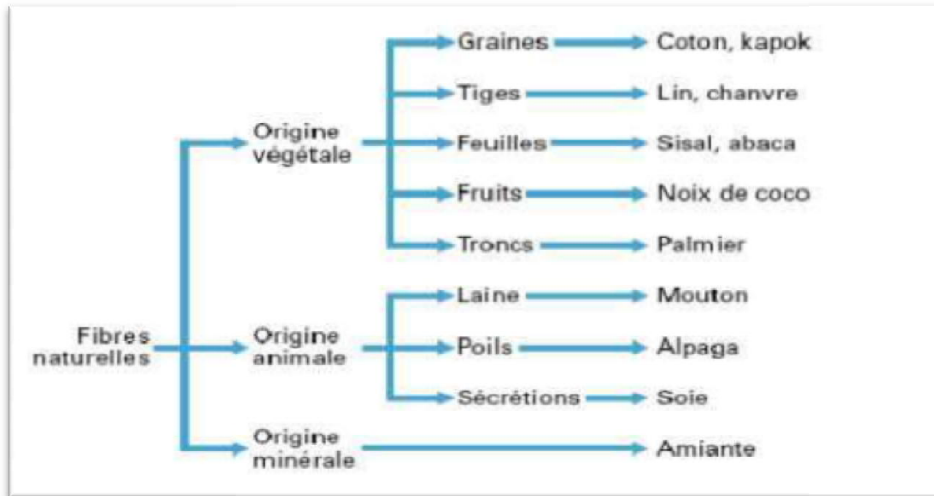
Constituent une alternative intéressante aux fibres de verre en raison de leur recyclabilité et les nombreux avantages comme renfort de matériaux composites. En revanche, certains inconvénients peuvent être un frein au niveau du développement industriel. Ils comprennent les fibres provenant des poils séminaux de graines (coton, kapok), les fibres libériennes extraites de tiges de plantes (lin, chanvre, jute, ramie), les fibres dures extraites de feuilles (sisal), de troncs (chanvre de Manille) ou d'enveloppes de fruits (noix de coco). [18]

###### ➤ Les fibres minérales

L'amiante est la seule fibre minérale naturelle. Elle a attiré l'attention des industriels pour

## CHAPITRE II : Matériaux Composites

sa résistance à la chaleur, au feu, aux agressions électriques et chimiques et pour son pouvoir absorbant.



**Figure II.14** : Classification des fibres

naturelles en fonction de leur origine. [18]

### II.2.4.2.2.3.Composition d'une fibre

Les composantes principales de la fibre naturelle sont la cellulose, , hémicellulose, lignine, pectines et cires.

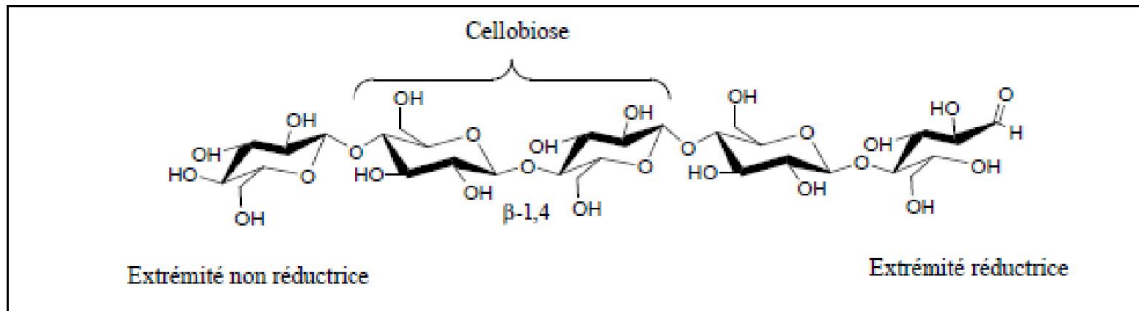
**Tableau II.2** : Composition des fibres naturelles [17]

Fibres	Cellulose (%)	Lignine (%)	Hémicellulose (%)	Pectine (%)
<b>Fibres de tige :</b>				
Bambou	46-58	20-22	16-20	8-10
Kénafe	37-49	15-21	18-24	-
Jute	41-48	21-24	18-22	-
<b>Fibres d'écorce / libériennes :</b>				
<b>Fibres de lin</b>				
Kénafe	71	2,2	18,6-20,6	2,3
Kénafe	31-57	15-19	21,5-23	-
Jute	45-71,5	12-26	13,6-21	0,2
Chanvre	57-77	3,7-13	14-22,4	0,9
Ramie	68,6-91	0,6-0,7	5-16,7	1,9
<b>Fibres de feuillage :</b>				
Abaca	56-63	7-9	15-17	-
Sisal	47-78	7-11	10-24	10
Henequen	77,6	13,1	4-8	-

### ✚ La cellulose

La cellulose représente la molécule biologique la plus abondante sur terre. D'un point de vue chimique, la cellulose est une macromolécule constituée par une très longue chaîne

stéréorégulière composée de maillons de glucose. Le degré de polymérisation (*DP*) est environ 10000. Chaque unité de répétition contient trois groupes d'hydroxyle. Ces groupes d'hydroxyle et leur capacité à la liaison hydrogène jouent un rôle important en dirigeant l'emballage cristallin et régissent également les propriétés physiques de la cellulose. La cellulose solide forme une structure microcristalline avec des régions, c'est-à-dire des régions cristallines d'ordre élevé (régions amorphes d'ordre réduit). La cellulose est également constituée de tige mince comme les micro-fibrilles cristallines. [19]



**Figure II.15 :** Molécule de cellulose (n répétitions du motif cellobiose). [19]

### ✚ Les hémicelluloses

L'hémicellulose n'est pas une forme de cellulose. Elle comprend un groupe de polysaccharides composés d'une combinaison de cycles à 5 et 6 carbones. L'hémicellulose forme la matrice de support des micro fibrillés de cellulose. L'hémicellulose est très hydrophile, soluble en milieu alcalin, et facilement hydrolysable dans les acides. L'hémicellulose a, de plus, une structure chimique très différente selon l'origine végétale, le type cellulaire, la localisation dans la paroi ou bien encore l'âge des tissus. Parmi les hémicelluloses les plus fréquentes de la paroi des cellules du bois se trouvent les familles des xylanes, des mannanes et des galactanes. La classe d'hémicellulose la mieux étudiée correspond aux xyloglucanes. Ils sont constitués d'une chaîne de glucose et de courtes chaînes latérales de xylose, galactose et fucose. [17] Les hémicelluloses ont un degré de polymérisation compris entre 200 et 300 et leur structure dépend de l'espèce végétale (type cellulaire, localisation dans la paroi ou bien encore âge des tissus). [19]

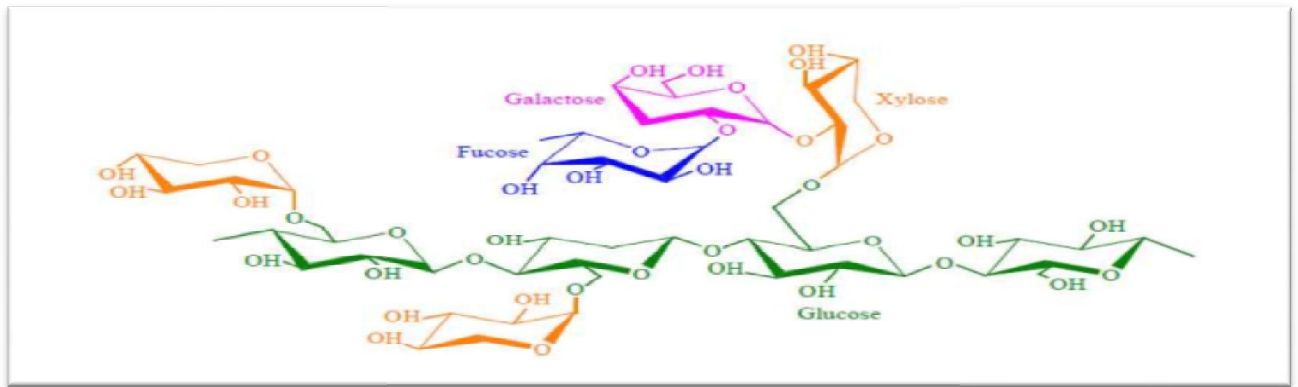


Figure II.16 : Structure d'un type de xyloglucane.[17]

### ✚ La lignine

La lignine est une macromolécule extrêmement hétérogène composée de polymères aromatiques. Elle représente, après les polysaccharides, le polymère naturel le plus abondant sur terre. [17] La lignine est responsable de la rigidité et de la dureté des bois et des plantes. Elle est peu sensible à la dégradation biologique, elle crée une barrière morphologique à la pénétration et à la progression des agents pathogènes, et contribue à la protection naturelle des végétaux contre certaines attaques parasitaires [19]. La lignine est une molécule à trois dimensions composée d'unités de phényle propane. Les unités primaires (monolignols) constituant la lignine sont l'alcool coniférylique, l'alcool sinapylique et l'alcool p-coumarylique. Au cours du processus de lignification, des phénoloxydases végétales telles que les laccases interviennent et permettent la polymérisation des différentes unités élémentaires[17]. La lignine contribue à la résistance mécanique des parois cellulaires et soutient la cohésion des fibres dans la partie boisée. En considérant la fibre comme un matériau composite, la lignine représenterait la matrice. Elle sert d'agent complexant pour les minéraux et aide à la conservation de l'humidité dans les plantes. [19]

### ✚ Les pectines et les cires

Les pectines ont un nom collectif c'est le hétéro-polysaccharides, elles donnent la souplesse aux plantes. Les cires composent la dernière partie des fibres et elles se composent de différents types d'alcools. La biofibres peut être considérée comme un composite de fibrille creux de cellulose liée par une lignine et une matrice d'hémicellulose. De tels types en microfibrilles ont un diamètre d'environ 10-30 nm et se composent de 30-100 molécules de cellulose dans la conformation à chaînes étendues et fournissent la dureté à la fibre. La structure, angle micro-fibrillaire, dimensions des cellules, défauts, et la composition chimique des fibres sont les variables les plus importantes qui déterminent les propriétés globales des fibres. Généralement, la résistance à la traction et le module d' Young augmente

## CHAPITRE II : Matériaux Composites

avec l'augmentation du contenu de la cellulose dans les fibres. L'angle micro fibrillaire détermine la dureté des fibres. Les fibres des plantes sont plus étirables si les microfibrillaire ont une orientation spiralée à l'axe de fibre. Si les microfibrilles sont installées parallèles à l'axe de la fibre, ces derniers seront rigides, inflexibles et auront une haute résistance. [20]

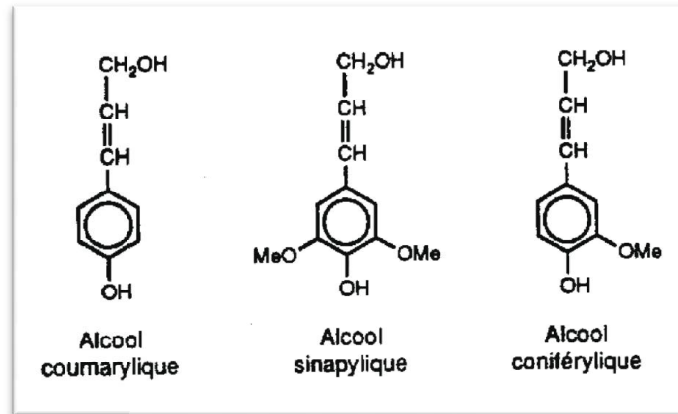


Figure II.17 : Motifs élémentaires de la lignine. [19]

### ✚ Cires

Les cires sont des constituants des fibres naturelles, qui peuvent être extraites avec des solutions organiques. Ces matériaux se composent de différents types d'alcools insolubles dans l'eau et de plusieurs acides tels que l'acide palmitique, l'acide oléagineux et l'acide stéarique. [5]

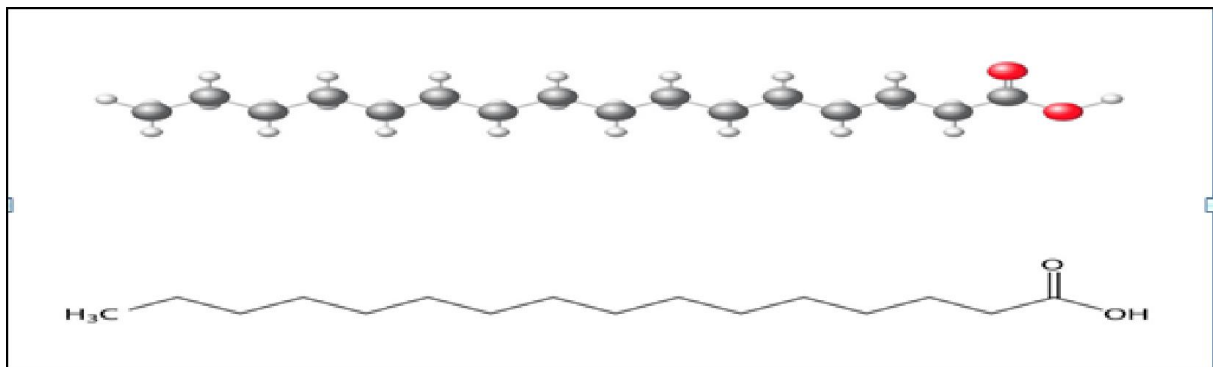


Figure II.18 : Structure et modèle moléculaire de l'acide palmitique. [21]

### II.2.4.2.2.4. Propriétés usuelles des fibres

#### ✚ Propriétés Thermique

Du point de vue thermique, la plupart des fibres naturelles perdent de leur rigidité des 160°C et on voit la lignine se dégrader aux alentours de 200°C [22].

#### ✚ Propriétés Mécanique

## CHAPITRE II : Matériaux Composites

De par leur composition physique et chimique, les fibres naturelles présentent des propriétés mécaniques très variables conférant ainsi à chaque type de fibre une utilisation bien spécifique. Les travaux menés par Baley montrent que les propriétés des fibres naturelles changent considérablement, cette variabilité prend naissance à partir de leurs récoltes par l'identification de l'aspect physiologique et biochimique sur les espèces de récoltes de la tige de jute [6]. Du point de vue mécanique, la cellulose cristalline est l'un des polymères ayant le module d'élasticité le plus élevé, environ 136 GPa à comparer aux 75 GPa de la fibre de verre. Cette rigidité provient de la structure cristalline qui suit un agencement supramoléculaire hélicoïdal très ordonné. Lors d'une elongation des fibres, il se produit un couplage torsion/traction qui peut avoir des conséquences sur l'interface, sur la déformation ou sur les mécanismes de rupture d'un composite. [19]

**Tableau II.3 :** Les propriétés mécaniques moyennes en traction des différentes fibres naturelles. [6]

Fibres	E (GPa)	A(%)	$\sigma_u$ (MPa)	Densité
Lin	12-85	1-4	600-2000	1,45
Lin : moyenne mini-maxi	58±15 27-91	3,27±0,84 1,6-5,9	1339±486 531-3282	1,53
Ramie	61,4-128 27 65±18	1,2-3,8 3,2	400-938 755 800-1000	400-938 755 800-1000
Chanvre	35	1,6	389	1,07
jute	26,5	1,5-1,8	393-773	1,44
sisal	9-21	3-7	350-700	1,45
Noix de coco	4-6	15-40	131-175	1,15
Cotton	5,5-12,6	7-8	287-597	1,5-1,6

### Propriétés physique-chimique

D'un point de vue physico-chimique, ils s'adaptent parfaitement à différents milieux ambiants et peuvent être très performants en termes de résistance aux produits chimiques, au feu, ou à la corrosion. On peut aussi effectuer des mesures des propriétés physico-chimiques :

-Degré de polymérisation : Caractérise la longueur de la chaîne moléculaire. En général, pour les fibres naturelles, on peut mesurer la longueur des chaînes de cellulose après l'élimination des autres composants.

-Composition chimique : Au-delà des trois constituants déjà évoqués ci-dessus, on peut également déterminer le taux de pectines, de cires et de minéraux présents dans la fibre.

-Taux de cristallinité de la cellulose contenue dans la fibre: Ce taux peut être approché par la

## CHAPITRE II : Matériaux Composites

mesure de viscosité de solution de cellulose dissoute. Il a une influence sur la rigidité des microfibrilles de cellulose et sur l'affinité tinctoriale.

**Tableau II.4** : Propriétés physiques des fibres naturelles. [23]

Fibre	Contrainte à la rupture (MPa)	Module d'élastique (GPa)	Déformation (%)	Densité (g/cm <sup>3</sup> )
La soie d'araignée	1300-2000	~30	28-30	1,3
Lin	500-900	50-70	1,5-4,0	1,45
Chanvre	350-800	30-60	1,6-4,0	1,48
Kénaf	400-700	25-50	1,7-2,1	1,3
Jute	300-700	20-50	1,2-3,0	1,3
Bambou	500-740	30-50	~2	1,4
Sisal	300-500	10-30	2-5	1,5
Fibre de coco	150-180	4-6	20-40	1,2
Fibre de verre	1200-1800	72	~2,5	2,5
Carbone	~4000	235	~2	1,4

### II.2.4.2.2.5. Modification des fibres naturelles

Les fibres de cellulose sont incompatibles avec les polymères hydrophobes. Or, la qualité de l'interface fibre-matrice est importante pour l'utilisation des fibres naturelles comme fibres de renfort pour les polymères. Il est donc très souvent nécessaire de modifier la surface des fibres pour optimiser cette interface. Les méthodes de modification sont différemment efficaces en ce qui concerne l'adhésion entre la matrice et les fibres. Les fibres de renfort peuvent être modifiées par des méthodes physiques ou chimiques.

- Les méthodes physiques, telles que l'étirage, le calandrage, le traitement thermique, le laser, les rayons gamma, les UV, plasma... modifient les propriétés structurales et de surface de la fibre et influencent ainsi les liaisons avec les polymères.
- Les modifications chimiques comprennent des traitements avec de la soude, du silane (alcoxyde de silicium fonctionnalisé), de l'acide acétique, ou encore des molécules à base de benzoyl, d'isocyanate, de triazine ou d'imidazolidinone, etc. [17]

### II.2.4.2.2.6. Le traitement thermique [17]

Le traitement thermique des fibres naturelles conduit à de multiples changements physiques et chimiques. En raison de leur structure chimique, chacune des trois composantes (cellulose, hémicelluloses et lignine) réagit différemment au cours du processus de dégradation thermique. La microstructure et la nature tridimensionnelle des fibres naturelles sont variables, influençant leur comportement au cours de la combustion. La fibre naturelle commence à se dégrader à environ 240°C. La lignine, en particulier la protolignine à faible

## CHAPITRE II : Matériaux Composites

---

poinds moléculaire, se dégrade en premier avec une cinétique plus lente que les autres constituants, à des températures inférieures à 170°C, les propriétés des fibres ont été légèrement modifiées, tandis qu'à des températures supérieures à 170°C, une baisse importante de la ténacité et un degré élevé de dégradation ont été observés. La dégradation thermique des fibres naturelles est un processus en deux étapes :

- Le processus de dégradation à faible température (80-180 °C), associé à la dégradation de la lignine ;
- Le processus de dégradation à haute température (280-380 °C), dû à la dégradation de la cellulose.

La stabilité thermique limitée des fibres naturelles est l'un des inconvénients majeurs, principalement dans le cas de leur utilisation dans les composites. De nombreuses études ont montré que la modification chimique des fibres cellulosiques peut améliorer leur stabilité thermique. L'étude et la compréhension du processus de décomposition thermique des fibres naturelles sont d'une importance majeure. En effet, cette connaissance permettra une meilleure conception des processus de fabrication des composites. A titre illustratif, l'analyse de la cinétique de dégradation est indispensable pour la détermination des températures de cuisson dans le cas des élastomères et des thermodurcissables et des températures d'extrusion dans le cas des composites à matrice thermoplastique.

### **II.2.4.2.2.7. Biodégradation et photo-dégradation des fibres naturelles [17]**

Les fibres naturelles sont biodégradables par des enzymes très spécifiques capables d'hydrolyser la cellulose et les hémicelluloses présentes dans la paroi cellulaire. En contact avec les rayons UV, les fibres naturelles subissent une dégradation photochimique. La photo-dégradation se déroule principalement au niveau de la lignine qui est responsable du changement de couleur. Ainsi, la surface devient plus riche en cellulose. La résistance à la photo-dégradation et à la biodégradation peut être améliorée par modification chimique de la fibre naturelle.

### **II.2.4.2.2.8. Intérêt de l'utilisation des fibres naturelles**

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

- Valoriser une ressource locale dans des pays peu industrialisés, les composites à fibres naturelles ouvrant de nouveaux débouchés aux produits agricoles,
- Développer des matériaux et des technologies prenant en compte les impacts sur l'environnement.

## CHAPITRE II : Matériaux Composites

---

Les fibres naturelles sont des matériaux de qualité qui se fabriquent et servent au cycle naturel sur terre depuis des millions d'années. Dans cet esprit, on envisage de remplacer les fibres artificielles par des fibres naturelles, pour faire des économies, et parce que les matières premières renouvelables présentent des avantages écologiques. [5]

### **II.2.4.2.2.9. Application des fibres naturelles**

Les fibres naturelles sont utilisées dans de nombreuses applications : automobile, aérospatiale, marine, articles de sport, industries. La fibre naturelle est utilisée dans des éléments porteurs comme les poutres, les toits et les panneaux polyvalents. La fibre de jute est utilisée dans les composites de structure primaire. Les composites hybrides à base de fibres naturelles sont utilisés pour les étagères à colis, les panneaux de porte, les tableaux de bord, les accoudoirs. Le coton est utilisé dans le tissu textile, le kapok est utilisé dans la fabrication des oreillers, du matelas. Le jute est utilisé dans la toile de jute, les sacs et les tapis. Le kénaf est utilisé dans la fabrication de non-tissés composites, de tapis d'isolation et de papier spécialisé. Le chanvre, la ramie comme tissu textile. L'abaca est utilisé dans la fabrication de papier spécialisé, de sachets de thé. Le coco est utilisé pour la fabrication de ficelles, de cordes, de tapis, de brosses. La laine est utilisée dans la fabrication de vêtements en tricot. La soie est utilisée pour la fabrication de vêtements fins, de voiles, de mouchoirs. La fibre naturelle est utilisée pour la construction de parkings en Allemagne, de meubles comme les chaises à ressorts, de literies en fibre pour les voitures, etc.

### **II.2.4.2.2.10. Les avantages et les inconvénients**

Les fibres naturelles présentent de nombreux avantages. Elles sont biodégradables et composables et proviennent de ressources renouvelables annuellement. Elles sont également neutres vis-à-vis de l'émission de CO<sub>2</sub> au cours de l'incinération qui est identique à la quantité de CO<sub>2</sub> absorbé pendant la croissance de la plante. Enfin, elles ont de bonnes propriétés mécaniques spécifiques notamment en termes de module spécifique et ont une faible densité en comparaison des fibres synthétiques (principalement les fibres de verre) ; les fibres naturelles présentent également des inconvénients non négligeables. En plus de leur forte variation de qualité obligeant ainsi, pour une utilisation industrielle, d'avoir une bonne gestion des stocks pour garantir une qualité constante, elles entraînent une consommation d'eau et d'énergie non négligeable à la production. Enfin, elles ont une faible adhésion avec les polymères et sont sensibles à leur environnement de stockage ou d'utilisation ce qui pose des problèmes en termes de mise en forme ou de durabilité.

### II.2.4.3. Charges

#### II.2.3.3.1. Charges renforçantes

L'objet de l'incorporation de charges renforçantes est d'améliorer les caractéristiques mécaniques de la résine. Ces charges peuvent être classées suivant leur forme géométrique en :

- charges sphériques,
- charges non sphériques. [7]

#### II.2.3.3.2. Charges non renforçantes

Les charges non renforçantes ont pour rôle soit de diminuer le coût des résines en conservant les performances des résines, soit d'améliorer certaines propriétés des résines. Parmi ces classes on trouve :

- charges de faible coût.
- charges ignifugeantes.
- charges conductrices et antistatique. [7]

### II.2.4.4. Additifs

Les additifs se trouvent en faibles quantités (quelques % et moins) et interviennent comme :

- lubrifiants et agents de démoulage.
- pigments et colorants.
- agents anti-retrait.
- agents anti-ultraviolets. [7]

### II.2.4.5. L'interface

En plus des fibres et de la matrice, il faut rajouter : une interface qui assure la compatibilité renfort/matrice, qui transmet les contraintes de l'un à l'autre sans déplacement relatif, bonne adhérence en couche fine, des produits chimiques entre aussi dans la composition du composite. L'interphase peut jouer sur le comportement mécanique, mais n'intervient pratiquement jamais dans le calcul de structure composite. [23]

### II.2.5. Procédés de fabrication des composites [12]

Les techniques plasturgistes sont les plus fréquemment utilisées dans la mise en forme des matériaux composites. Elles ont pour point commun la réalisation du mélange des matières premières à une température correspondant à une phase ramollie des plastiques. Ce mélange à chaud (melt-blending) est obtenu de plusieurs manières et conduit à différents modes de fabrication. Parmi ces procédés de mise en œuvre, on distingue :

- le moulage au contact,
- le moulage par compression de mat preimprégné – SMC,
- le moulage par injection de compound – BMC,
- le moulage par injection basse pression de résine – RTM.

### II.2.6. Intérêt des composites

Les matériaux composites, en fonction de leurs constituants, présentent un grand nombre d'intérêts. D'un point de vue mécanique, ils offrent d'excellentes propriétés en traction, flexion, compression, cisaillement plan et transverse ainsi qu'une excellente absorption aux chocs. Leur résistance mécanique combinée à leur faible densité en font un élément incontournable des conceptions actuelles qu'elles soient structurelles ou non.

Néanmoins, leur plus grand intérêt réside dans la possibilité de pouvoir intégrer plusieurs fonctions en une seule opération réduisant de fait et de façon conséquente, le nombre de pièces d'un ensemble mécanique ou d'une conception et par là même son coût de revient. Bien que leur fabrication nécessite des investissements parfois lourds en termes d'outillages de moulage, ils constituent un compromis technico-économique intéressant lorsqu'ils sont fabriqués en série.

### II.2.7. Avantages et inconvénients des composites [6]

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

- leur légèreté,
- grande résistance à la fatigue,
- faible vieillissement sous l'action de l'humidité, de la chaleur, de la corrosion,
- insensibilité aux produits chimiques,
- possibilité de prendre plusieurs formes (pièces complexes),
- bonne tenue au feu (attention aux dégagements toxiques).

Cependant certains inconvénients freinent leur diffusion :

- les coûts des matières premières et des procédés de fabrication,
- la sensibilité à la chaleur,
- la gestion des déchets engendrés et la réglementation de plus en plus stricte.

## CHAPITRE II : Matériaux Composites

---

### Références

- [1] Mohamed RAGOUBI « Contribution à l'amélioration de la compatibilité interracial fibres naturelles/matrice thermoplastique via un traitement sous décharge couronne » thèse de doctorat , l'Université Henri Poincaré Nancy , 2010
- [2] LASMI Sofiane, Effets des taux de l'agent traitant et de l'agent comptabilisant sur les propriétés des nano composites Polypropylène /Silice, , Magister, Génie des Polymères, Université Sétif-1,2014
- [3] Korichi Asma., Tiaiba Wafa., « Amélioration et élaboration d'un matériau composite à base d'une matrice thermodurcissable (iso et ortho polyester insaturé) renforcé par les déchets de MAGHREB PIPE "M'sila" ».Mémoire master chimie de l'environnement : Université MOHAMED BOUDIAF - M'SILA, -2019
- [4] L.Guillaumat, F.Dau, A.Alzina, Cours matériaux composites « Matériaux composites et fiabilité » (le 28 janvier 2008, Clermont-Ferrand).
- [5] Boudjema Hayet Latifa, Elaboration de Matériaux Composites Biodégradables Issus De Ressources Renouvelables, Thèse Pour L'obtention Du Diplôme De Doctorat, Université D'Oran 2 Institut De Maintenance et De Sécurité Industrielle
- [6] Sandali A, Rabhi N. comportement au choc des stratifiées composites renforcées par des fibres naturelles, mémoire de master, université KasdiMarbah de Ouargla, 2013
- [7] ROUAM KAMILA, « Elaboration, caractérisation mécanique et hygrothermique d'un stratifié renforcé par des fibres naturelles », Mémoire de Magister en science et génie des matériaux, physique et mécanique des Matériaux, Université M'hamed Bougara – Boumerdes, 2014
- [8] <http://www.aerospace-technology.com/projects/ariane5/>
- [9] Jean-Jacques BARRAU, Didier GUEDRA DEGEORGES Structure sandwich Structures en matériaux composites Réf : BM5080 v110 janv. 2004
- [10]<http://cs.astrium.eads.net/sp/launcher-propulsion/manufacturing/ceramic-matrixcomposites.html>.
- [11] <http://web.mit.edu/3.082/www/team1/notebook.html>
- [12] Mohamed Ragoubi. Contribution à l'amélioration de la compatibilité interfaciale fibres naturelles/ matrice thermoplastique via un traitement sous décharge couronne. Autre. Université Henri Poincaré - Nancy 1, 2010.
- [13] F. Laurin, Introduction générale sur les matériaux composites, Aussois, 2011.

## CHAPITRE II : Matériaux Composites

---

- [14] Jean Marie, Berthelot, Matériaux Composites, Comportement Mécanique et Analyse Des Structures, Édition tec et doc, 1999
- [15] [http://www.cybel.fr/glossaire/mat\\_ceramic.htm](http://www.cybel.fr/glossaire/mat_ceramic.htm) (consulté le 15 octobre 2015)
- [16]Nadia BEHLOULI « Cours matériaux composites »  
« <http://www-ipst.u-strasbg.fr/cours/materiaux-composites/comp0.htm> ».
- [17]Vi Vi Do Thi. Matériaux composites à fibres naturelles / polymère biodégradables ou non. Alimentation et Nutrition. Université de Grenoble; Université des Sciences Naturelles d'Ho Chi Minh Ville, 2011
- [18] Marwa Abida Comportement hygroscopique et couplage hygromécanique dans les composites lin / époxy : approche expérimentale multi-échelle et modélisation  
Université de Caen Normandie | UNICAEN · Centre de Recherche sur les Ions, les Matériaux et la Photonique (CIMAP).2018
- [19.] Mohamed Ragoubi. Contribution à l'amélioration de la compatibilité interfaciale fibres naturelles/ matrice thermoplastique via un traitement sous décharge couronne. Autre. Université Henri Poincaré - Nancy 1, 2010
- [20] BELAADI Ahme Elaboration et caractérisation des matériaux composites à renfort en fibres naturelles (fibre de sisal) de Génie Mécanique MEMOIRE DE MAGISTER Université du 08 Mai 1945 – Guelma.2011
- [21] ACHOUR ABDERRAOUF, «Etude des performances des mortiers renforcés de fibresnaturelles : valorisation des plantes locales», Durabilité des Matériaux et Durée de Vie desOuvrages, thèse de Doctorat en Génie Civil, Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen – Faculté de technologie Laboratoire Eau et Ouvrage dans Leurs Environnement, 2017
- [.22] Dalila Hammiche Etude des Propriétés Physico-chimiques, Thermiques et Mécaniques des Fibres d'Alfa Grasses Laboratoire des Matériaux Organiques, Département de Génie des procédés, Université Abderrahmane MIRA Béjaïa 2015
- [23] . Berthelot J.M., "Matériaux composites comportement mécanique et analyse des structures ", Masson (1992).

***Chapitre III :***

***Résultats et discussion***

# CHAPITRE III : Résultats et discussion

## III.1. Matériaux utilisés

### III.1.1. Résine

La matière première qui a été utilisée dans cette étude pour la préparation des formulations comporte le polyéthylène haute densité de grade 5502 (PEHD) comme résine, c'est un produit commercialisé par « POLYMED » (de l'unité POLYMED CP2 /K situé a la zone industrielle de Skikda). Il se présente sous forme de poudre et granulés.



**Figure III.1 :** Poudre du PEHD.

### III.1.2. Renfort

Le renfort utilisé dans cette étude est : fibre végétale de Jute qui est coupée à une longueur de 5mm.

Trois différentes concentrations massiques en fibres ont été étudiées:

- ✓ PEHD pur.
- ✓ Composite 125 g PEHD + 15 g fibres de jute (donc la masse de fibre représente 10% de la masse totale).
- ✓ Composite 2 → 120 g PEHD + 30 g fibres de jute (donc la masse de fibre représente 20 % de la masse totale).



**Figure III.2 : Plante et fibres de Jute**

## CHAPITRE III : Résultats et discussion

### La plante

**Jute : Surnommé la « fibre d'or », le jute est une des fibres naturelle les plus longues et les plus utilisées. On le retrouve dans divers textiles.**

Le jute est extrait de l'écorce du jute blanc (*Corchorus capsularis*) et, dans une moindre mesure, de la corète potagère (*C. olitorius*). Cette fibre naturelle d'aspect soyeux est surnommée « fibre d'or » en raison de ses reflets. Il s'agit d'une culture annuelle qui prend environ 120 jours pour arriver à maturité (avril/mai-juillet/août). Le jute prospère dans les terres tropicales situées à faible altitude et ayant un taux d'humidité compris entre 60 et 90 pour cent. C'est une culture pluviale peu gourmande en engrais et pesticides. Son rendement est d'environ deux tonnes de fibre sèche par hectare. Le jute est l'une des fibres naturelles les moins chères. Il vient en deuxième position derrière le coton sur le plan des volumes produits comme de la diversité des usages.

### La fibre

La fibre de jute est longue, douce et brillante. Sa longueur va de 1 à 4 mètres et son diamètre de 17 à 20 microns. Elle est essentiellement composée de cellulose végétale et de lignine, qui sont respectivement les principaux composants de la fibre végétale et de la fibre de bois. Les méthodes de rouissage utilisées pour séparer l'écorce filamenteuse d'avec la tige peuvent être biologiques ou chimiques, mais les premières sont plus répandues compte tenu du coût des produits chimiques. Le rouissage biologique englobe plusieurs techniques consistant à lier les tiges en faisceaux avant de les faire tremper afin de séparer plus facilement les fibres de la tige. On gratte ensuite la matière non fibreuse, ce qui permet enfin d'arracher les fibres.

### Avantages pour l'environnement

Totalement biodégradable et recyclable, la fibre de jute est respectueuse de l'environnement. Un hectare de jute consomme environ 15 tonnes de dioxyde de carbone et relâche 11 tonnes d'oxygène. La rotation des cultures permet par ailleurs d'améliorer la fertilité des sols au profit de la récolte suivante. De surcroît, le jute ne produit pas de gaz toxique lorsqu'il est brûlé.

### Les usages du jute

Le jute est une fibre polyvalente. Avec la Révolution industrielle, il a largement devancé le lin et le chanvre dans la fabrication des sacs, lesquels représentent aujourd'hui encore l'essentiel des

## CHAPITRE III : Résultats et discussion

produits issus de cette fibre. Le jute a comme caractéristique intéressante de pouvoir être utilisé indépendamment aussi bien qu'avec diverses fibres et matières. S'il est de plus en plus souvent remplacé par des matières synthétiques, certains fabricants tirent parti de sa biodégradabilité pour des usages où ces dernières seraient inadaptées. On le retrouve par exemple dans des toiles pour mottes, destinées à la plantation de jeunes arbres, ou encore dans les géotextiles, pour lutter contre l'érosion et maintenir les sols. Ces produits se désagrègent et il donc est inutile de les retirer du sol. Le jute présente d'autres avantages. Bon isolant, il est doté de propriétés antistatiques intéressantes et affiche une faible conductivité thermique; sa capacité de rétention de l'humidité est moyenne.

### **Textiles**

Les principaux produits à base de jute sont les fils et ficelles, les sacs et autres toiles et les dos de tapis. La fibre de jute est également utilisée dans des textiles mixtes. Elle présente une forte résistance à la traction, une faible extensibilité et permet d'améliorer la « respirabilité ». Elle est tissée pour fabriquer des rideaux, des revêtements de chaises, des tapis et des carpettes, et se trouve souvent mélangée avec d'autres fibres synthétiques ou naturelles. De surcroît, les fils les plus fins peuvent être séparés pour imiter la soie. Il est également possible de mélanger le jute avec la laine, en le traitant auparavant avec de la soude caustique afin d'en améliorer l'ondulation, la douceur, la souplesse et l'apparence générale.

### **Emballage**

Le jute est souvent utilisé pour emballer les produits agricoles et, de plus en plus fréquemment, dans des emballages rigides et pour renforcer le plastique. Il remplace également le bois dans des pâtes et papiers.

### **Sous-produits**

Les sous-produits du jute sont employés en cosmétique, dans des médicaments, dans des peintures et dans d'autres produits. Dans les zones rurales des pays producteurs, les tiges de jute sont utilisées comme combustible et pour fabriquer des clôtures. Elles remplacent avantageusement le bois de forêt et le bambou dans la production de panneaux de particules et de pâtes et papiers.

### **Producteurs**

Le jute provient d'Asie du Sud et plus particulièrement d'Inde et du Bangladesh, où se concentrent 95 pour cent des cultures mondiales. Le Népal et le Myanmar en produisent également

## CHAPITRE III : Résultats et discussion

de faibles quantités. Le Pakistan, malgré des volumes de production limités, importe des quantités importantes de jute brut à des fins de transformation, essentiellement depuis le Bangladesh.

### **III.2. Méthode d'élaboration des biocomposites**

#### **III.2.1. Préparation d'échantillon**

Les composites ont été élaborés dans un malaxeur comportant deux cylindres tournant en sens inverse à une vitesse angulaire de 32 tour par minute et à une température de 175°C.

On Introduit le mélange entre les deux cylindres durant 12 minutes, ce qui assurait une fusion complète du mélange de polymère. Nous pouvons obtenir une feuille (refroidir à l'aire libre) coupées en petits morceaux de 2,5 à 4cm (voire Figure. III.3).

Les échantillons ont été fabriqués à l'aide d'une presse chauffante réglée à 177°C et d'un moule constitué de plaques d'aluminium. On a fabriqué des plaques pour les tests mécaniques de traction, dureté shore et résistance au choc (voir Figure. III.4 et figure. III.5).

## CHAPITRE III : Résultats et discussion



**Figure III.3:** méthode d'élaboration des plaques bio composites entre les deux cylindres.



**Figure III.4 :** Le moule entre les deux résistances.

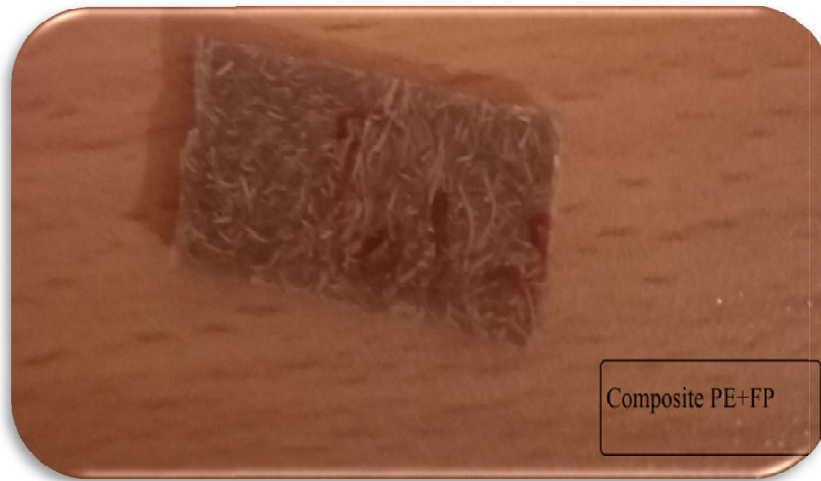


Figure III.5 : plaque obtenue après le pressage.

### III.3. Résultats et discussion

#### III.3.1. Analyse thermogravimétrique (ATG)

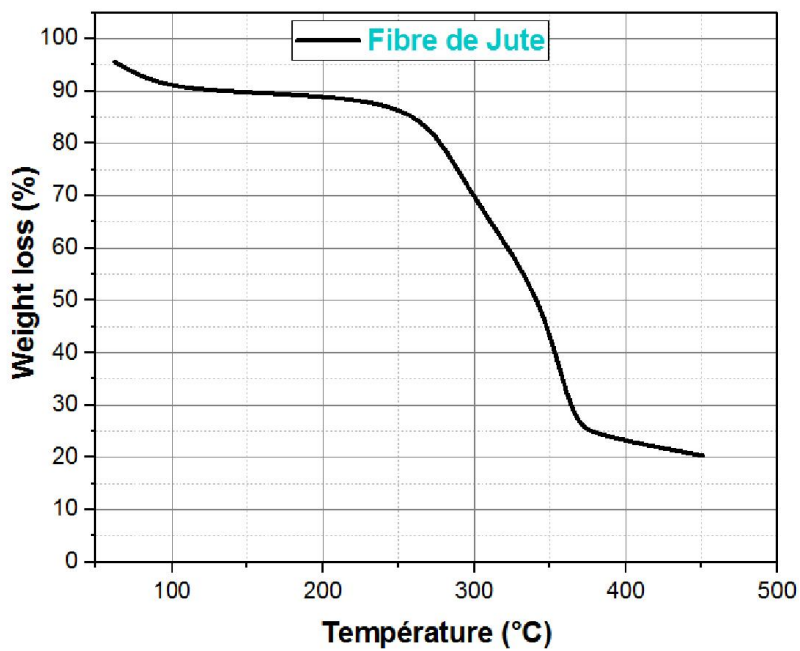


Figure III.6 : Thermogramme de la fibre de Jute.

## CHAPITRE III : Résultats et discussion

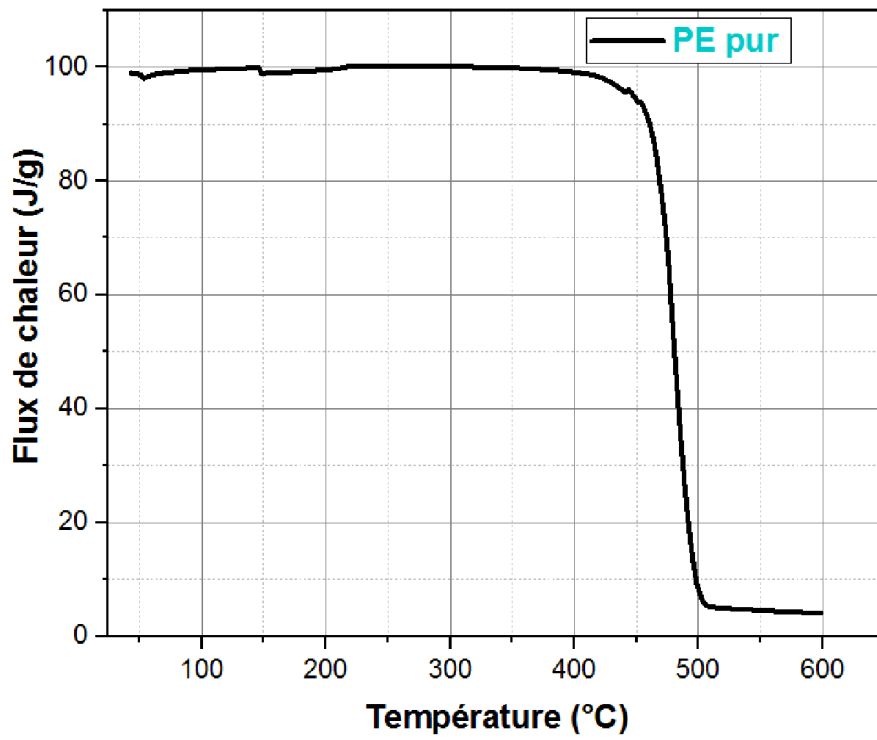


Figure III.7 : Thermogramme ATG du PE pur.

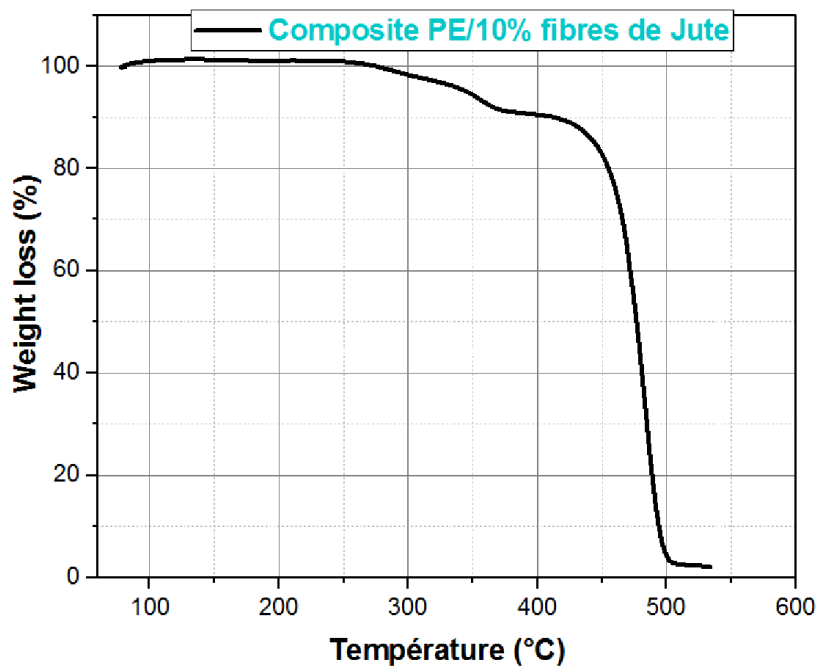


Figure III.8 : Thermogramme ATG du composite (PE/10% fibres de Jute).

## CHAPITRE III : Résultats et discussion

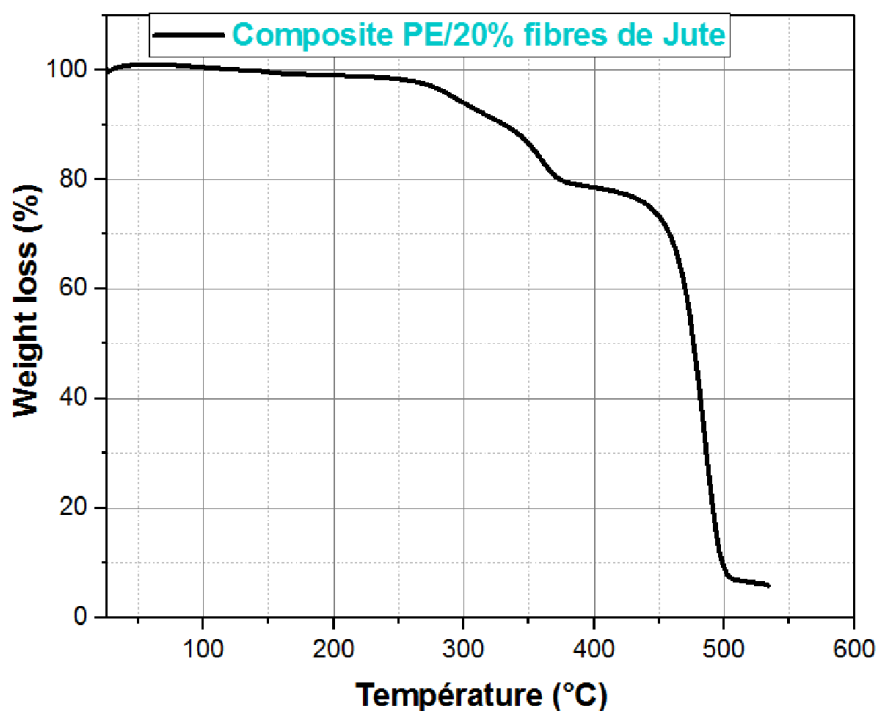


Figure III.9: Thermogramme ATG du composite (PE/20% fibres de Jute).

Tableau III.1 : Résultats de l'ATG.

	PE pur	Fibre de Jute	Composite PE/10% fibres de Jute		Composite PE/20% fibres de Jute	
			PE	Fibre de Jute	PE	Fibre de Jute
$T_{\text{onset}} (^\circ\text{C})$	380	193	402	272	438	169
$T_{\text{offset}} (^\circ\text{C})$	506	383	500	369	513	375

Les résultats de l'ATG regroupés dans le tableau III.1 montrent que l'incorporation de la charge de renfort de Jute a modifié le comportement thermique du composite obtenu en décalant la température de début de dégradation vers les hautes températures de 380 à 402 °C pour 10 % de charge et de 380 à 438 °C pour 20% de charge en masse mais pour la fin du processus de dégradation le décalage était léger de 506 à 513 pour 20% de charge en masse.

## III.3.2. Calorimétrie différentielle à balayage (DSC)

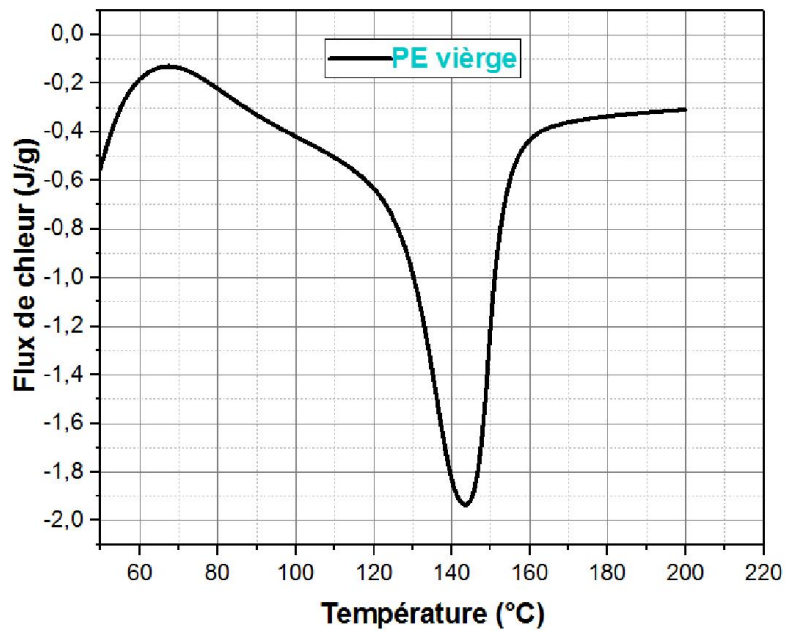


Figure III.10 : Thermogramme DSC du PE vierge.

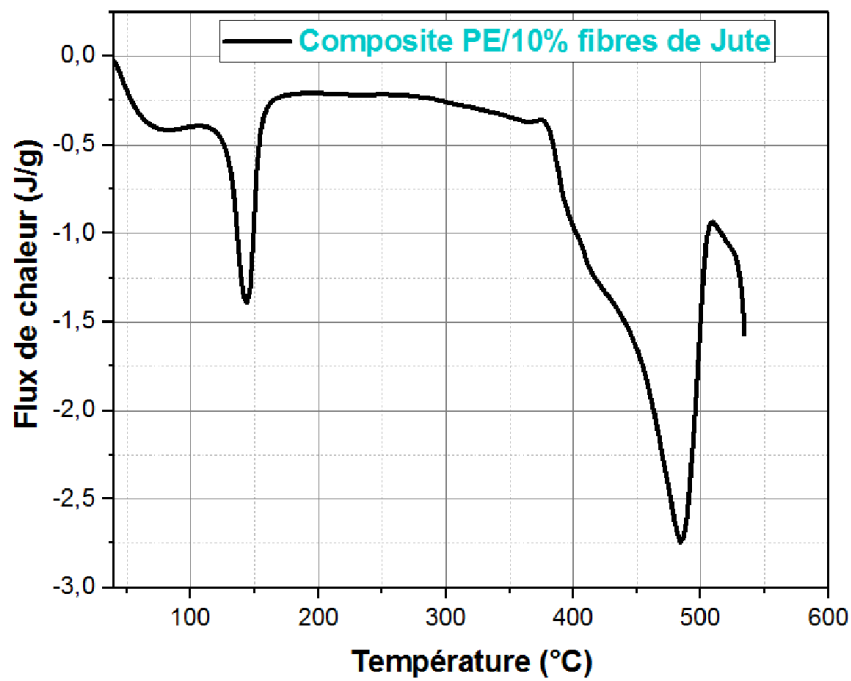


Figure III.11 : Thermogramme DSC du composite (PE/10% fibres de Jute).

## CHAPITRE III : Résultats et discussion

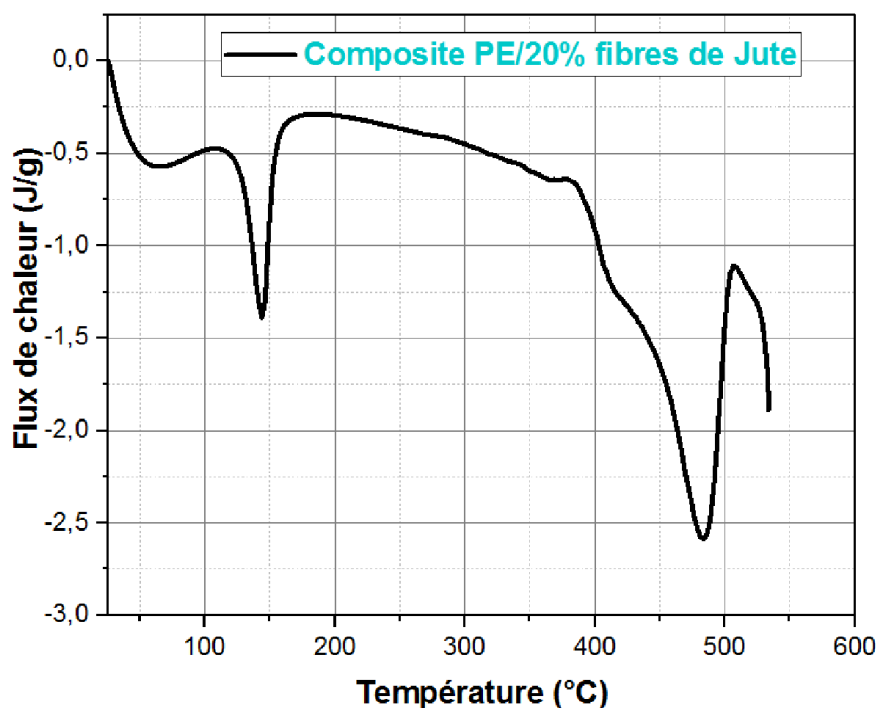


Figure III.12 : Thermogramme DSC du composite (PE/20% fibres de Jute).

Tableau III.2 : Résultats de DSC.

	PE pur	Fibres de Jute	Composite PE/10% fibres de Jute		Composite PE/20% fibres de Jute	
			PE	Fibres de Jute	PE	Fibres de Jute
<b>T<sub>f</sub>(°C)</b>	143	90	486	145	484	143

En regardant les résultats illustrés dans le tableau III.2, on constate que le comportement thermique du composite préparé a changé dans le sens des hautes températures et cela pour les deux pourcentages de renfort en fibre de Jute à savoir la température de fusion du PE passe de 143 à 486 pour une charge de 10% en masse et garde presque la même plage de température pour le renfort de 20% en masse.

## III.3.3. Diffraction des Rayons -X (DRX) aux grands angles

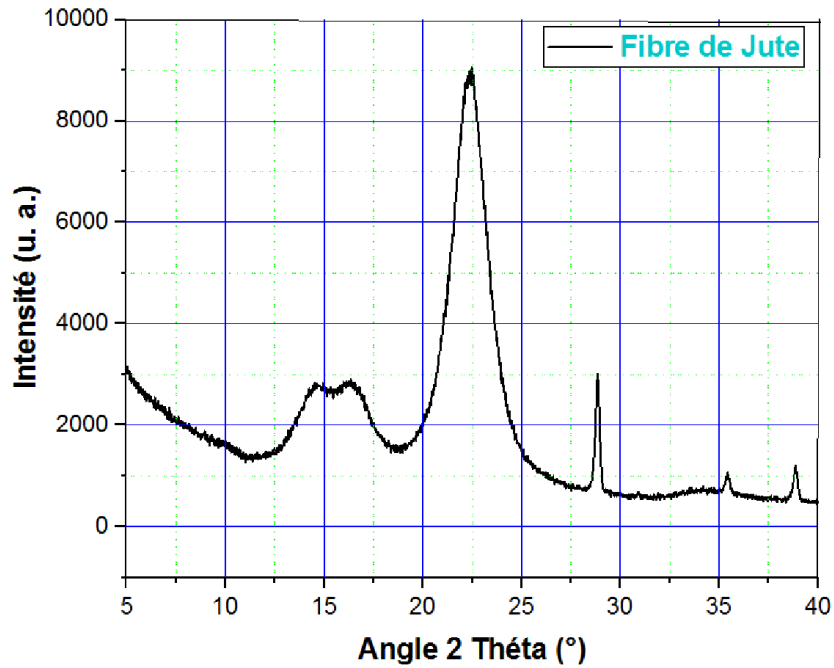


Figure III.13 : Diffractogramme de la fibre de Jute.

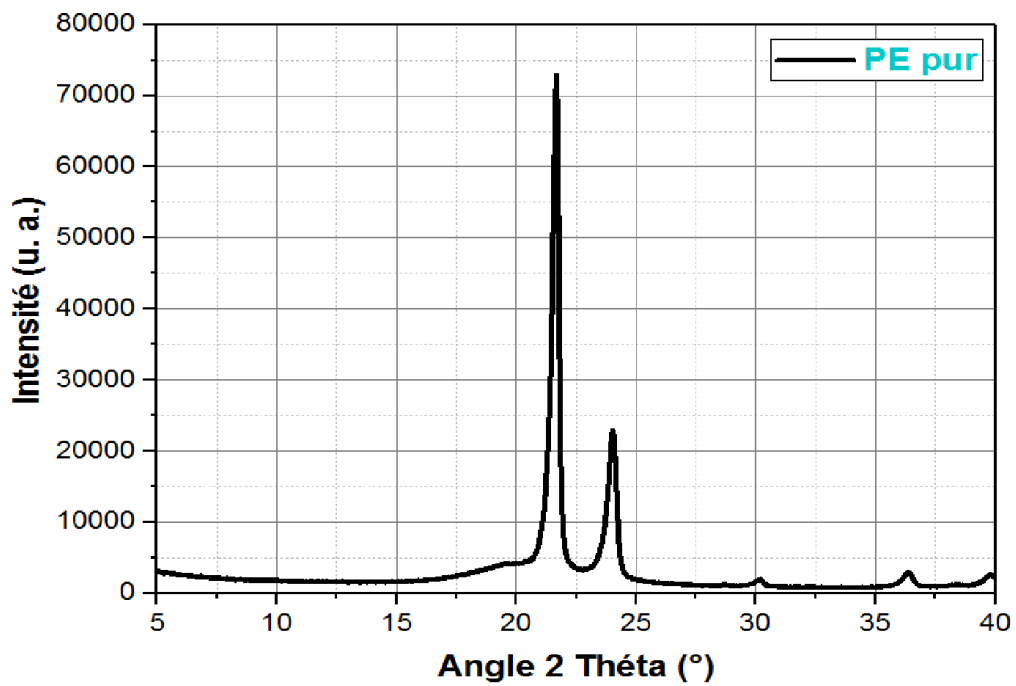


Figure III.14 : Diffractogramme du PE pur.

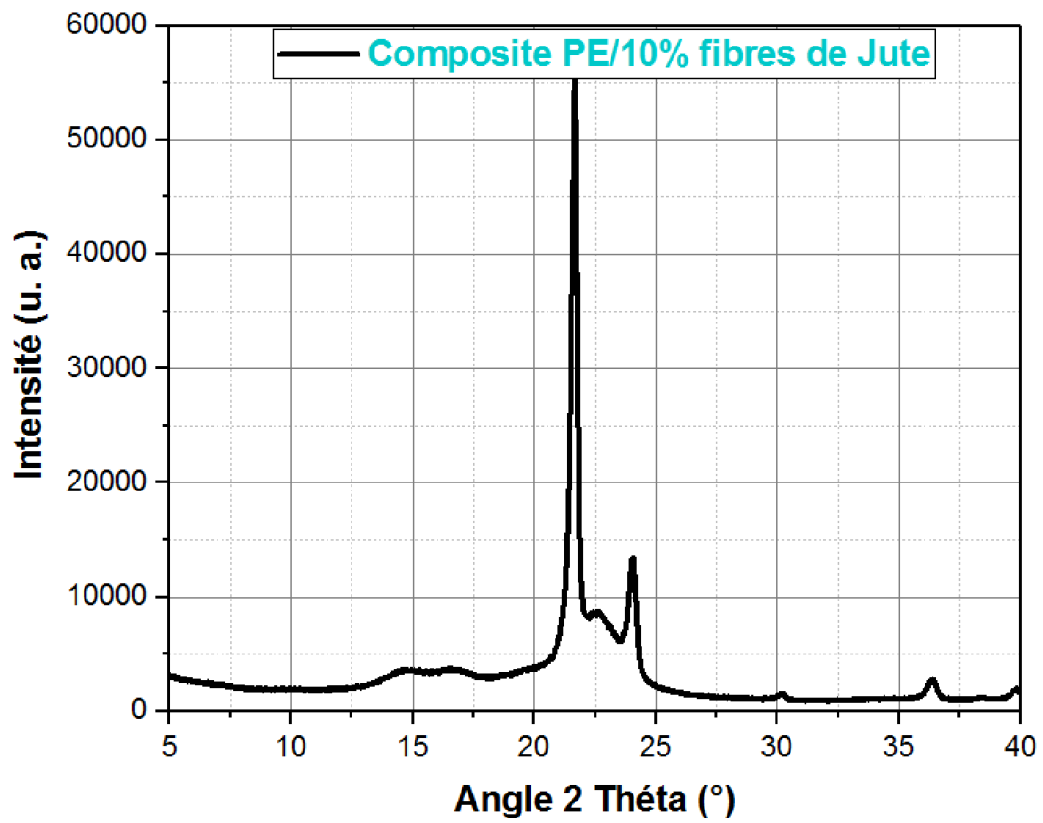


Figure III.15: Diffractogramme du composite (PE/10% fibres de Jute).

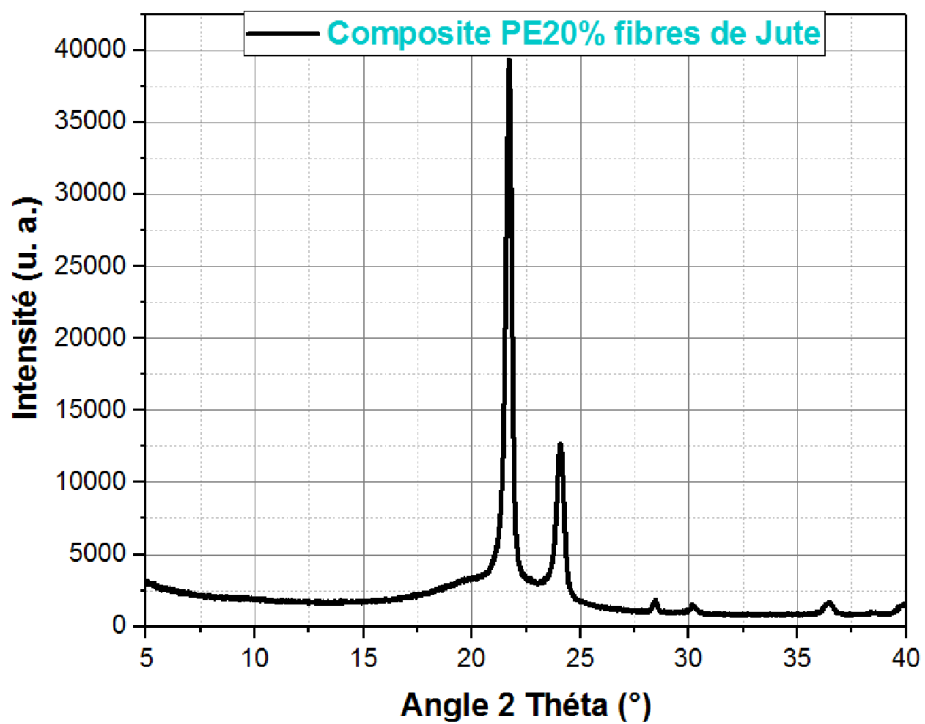


Figure III.16 : Diffractogramme du composite (PE/20% fibres de Jute).

## CHAPITRE III : Résultats et discussion

**Tableau III.3** : Résultats de DRX.

	Fibres de Jute		PE pur			Composite PE/10% fibres de Jute			Composite PE/20% fibres de Jute		
	600	1200	71500	23000	2750	69000	21000	2500	25500	10700	2650
<b>Intensité de chaque pic (a.u)</b>											
<b>Angle(°)</b>	16.50	22.50	21.95	24.89	36.50	22.00	24.90	36.50	22.02	24.99	36.50

Les résultats de DRX pour les composites de l'étude montrent que l'ajout de la charge de fibres de Jute n'a affecté la structure du composite que légèrement, c.à.d : le diffractogramme affiche trois pics au même angle  $2\theta$  de même pour le PE ; la seule différence est dans l'intensité des pics qui diminue avec le taux de charge incorporé dans la matrice du PE.

Alors, on peut conclure que l'ajout de cette charge comme renfort de la matrice du PE ne modifie pas la structure cristalline de ce matériau.

## Conclusion générale

## Conclusion générale

L'objectif principal de ce travail est l'étude du comportement thermique lors de la dégradation d'un composite constitué d'une matrice de polyéthylène haute densité (PEHD), renforcé par des fibres naturelles d'origine végétale : les fibres de jute avec des pourcentages de 10%, 20% en masse totale du matériau composite. Ceci nous a permis, grâce aux techniques de caractérisations, de recueillir des informations intéressantes relatives à l'effet du taux de charge sur les propriétés des composites élaborés.

En général, l'ajout de fibres a augmenté la stabilité thermique du composite. L'analyse des résultats expérimentaux nous conduit donc à affirmer que :

- l'ensemble des données recueillies sur les propriétés thermiques des composites par ATG/DSC, montrent que la charge lignocellulosique retarde sensiblement la décomposition du polyéthylène. Autrement dit, elle joue le rôle d'inhibiteur de la dégradation thermique
- les résultats obtenus par la Diffraction des Rayons X (DRX) montrent que l'ajout de la charge de fibres de Jute n'a pas affecté la structure cristalline de ce matériau.